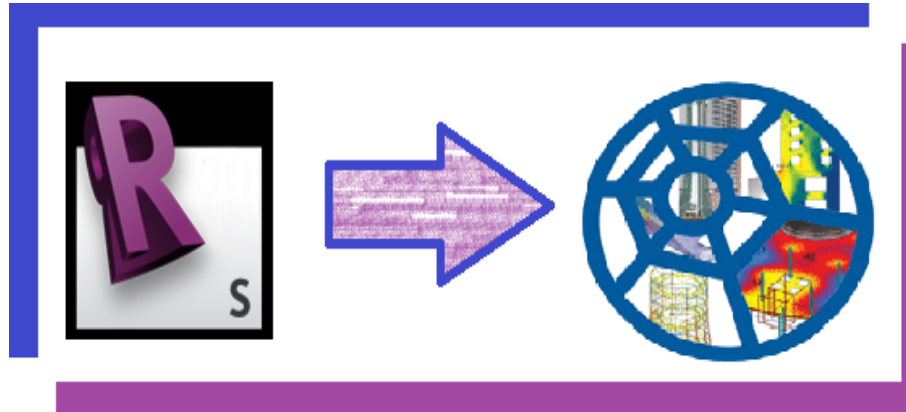


BIM I SAMSPEL MED FEM



Arber Sulejmani
Bedri Sallova

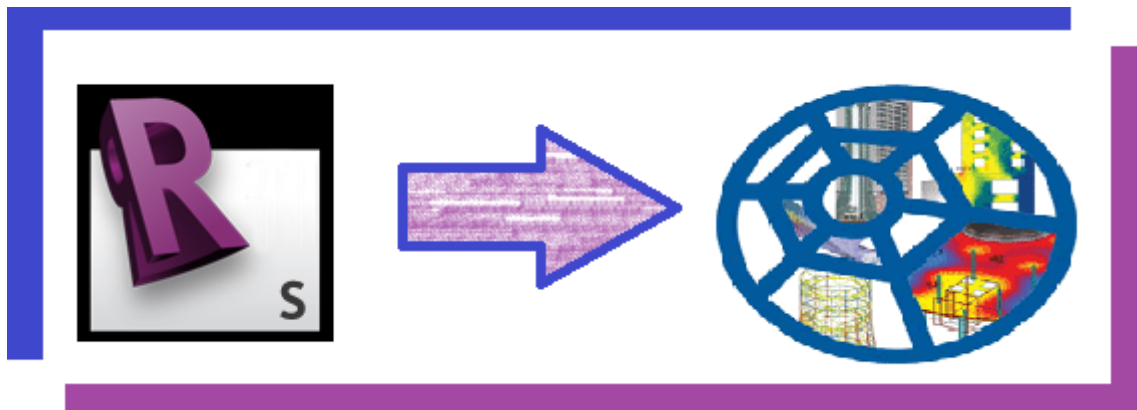
Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2012

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Division of Structural Engineering
Faculty of engineering, LTH
P.O. Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

BIM i samspel med FEM

Interaction between BIM and FEM



Sallova, Bedri & Sulejmani, Arber

2011

Rapport TVBK-5205
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-12/5205(60p)

Examensarbete
Handledare: Linus Malmgren LTH, Agneta Olsson COWI
Februari 2012

Förord

Denna rapport har tillkommit som resultatet av ett examensarbete på civilingenjörsutbildningen på väg- & vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola. Examensarbetet har genomförts i samarbete med COWI AB i Kristianstad.

Vi vill gärna rikta ett stort tack till våra handledare på COWI, Markus Olsson, Agneta Olsson och Johan Svensson för all hjälp de bidragit med. Vi vill även tacka vår handledare på avdelningen för konstruktionsteknik, Linus Malmgren och examinator Miklos Molnar.

Sist men inte minst vill vi tacka familj och vänner som varit med och stöttat oss genom hela vår utbildning och slutligen även vårt examensarbete.

Arber Sulejmani
LTH Väg & Vatten, Lunds Universitet

Bedri Sallova
LTH Väg & Vatten, Lunds Universitet

Abstract

The transition from the drawingboard to 2D-CAD was a whole new way to work more efficiently. Now we are facing a new transition, from 2D-CAD to BIM. The transition from drawingboard to 2D-CAD affected only drawing techniques. The transition to BIM meant a whole new way of working.

The term BIM stands for Building Information Model (or Modeling) and was first introduced in the `70s but had its breakthrough in the `80's. Generally BIM can be described as a process in which information about the building and all the parts are collected and stored systematically so they can be used on other occasions.

Today there is a large number of software products on the market that can provide the ability to implement BIM. One of the major players in the market is Autodesk, offering a wide range of drawing tools for stakeholders in the constructions sector. Autodesk has a BIM-tool called Revit with three different interfaces: Revit Architecture, Revit Structure and Revit MEP. The Revit Structure interface is used by structural engineers in the industry and therefore has been used in this thesis.

One of the advantages of BIM-tools is that you can take advantage of the analytical lines of the model calculations. This could save time and money for the structural engineering industry. The problem that arises is that the various programs have been difficult to cooperate in using a standardized format. For decades the industry has tried to find a suitable format for allowing exports from one drawing to another. The internationally dominant format today is IFC (Industry Foundation Classes). To export the analysis model from Revit requires the special IFC- view Structural Analysis View. Today Revit doesn't support that view, and therefore has the software manufacturer of analysis software, Strusoft, has made an add-in program in order to export the model.

COWI Kristianstad were interested to explore the possibility to export the model from Revit Structure to FEM-Design 3D Structure. This is possible by using the add-in program *Revit to FEM-Design*. Another research question was also to explore the possibility to import the model back into Revit Structure.

To examine the export from Revit Structure to FEM-Design 3D Structure a steel skeleton consisting of VKR-columns and IPE beams had to be designed.

The ability to export the file back from the 3-D Structure of Revit Structure was not possible. According to Strusoft a new version of the program is going to be available in spring 2012, which allows export back to Revit.

For exports of the analytical model from Revit Structure to 3D Structure there occurred certain complications. It turned out that the boundary conditions for the columns and beams that were set in Revit Structure didn't match the exported model in 3D Structure. This issue was solved by Strusoft and a new version of the program supplement is available.

The issue with the boundary conditions not being compatible after export is causing loss of credibility for the add-in program. The authors recommend that the complete model is drawn in a separate calculation program. The time spent checking the exported model might as well

be used to build their own.

The option to export the model is still there. But then we must not forget to do proper control of the exported model in 3D- Structure.

Keywords: FEM-Design, Revit Structure, 3D-Structure, BIM, export, analytical, computational, coordination

SAMMANFATTNING

Den stora övergången från ritbordet till 2D-CAD var ett helt nytt sätt att effektivisera arbetet. Nu står vi inför en ny övergång, från 2D-CAD till BIM. Övergången från ritbordet till 2D-CAD påverkade endast rittekniken. Övergången till BIM innebar ett helt nytt sätt att arbeta.

Uttrycket BIM står för Building Information Model (el. Modeling) och introducerades först på 70-talet men fick sitt genombrott under den senare delen av 80-talet. Generellt kan BIM beskrivas som en process där information om byggnadens alla delar samlas och förvaras systematiskt så att de kan nyttjas vid andra tillfällen.

Idag finns det en rad olika programvaror som erbjuder möjligheten att genomföra BIM-projektering. En av de större aktörerna på den här marknaden är Autodesk, som har ett brett utbud av ritverktyg för en rad olika aktörer i byggsektorn. Autodesk har ett BIM-verktyg som heter Revit med tre olika gränssnitt: Revit Architecture, Revit Structure och Revit MEP. Gränssnittet Revit Structure används av konstruktörer ut i branschen och har därför använts i detta examensarbete.

En av fördelarna med BIM-verktygen är att man kan utnyttja de analytiska linjerna i modellen för beräkningar. Detta hade både kunnat spara tid och pengar för byggkonsultbranschen. Problemet som uppstår är att de olika programmen har svårt att samarbeta via ett standardiserat format. I flera decennier har branschen försökt att hitta ett lämpligt format som möjliggör export från ett ritprogram till ett annat. Det internationellt dominerande formatet i dagens läge är IFC (Industry Foundation Clases). För att kunna exportera beräkningsmodell från Revit krävs den speciella IFC-vyn *Structural Analysis View*. I dagens läge stödjer inte Revit just den vyn och därför har programtillverkaren för beräkningsprogram, Strusoft, gjort ett programtillägg för att kunna exportera modellen. För att undersöka exporten från Revit Structure till FEM-Design 3D-Structure ritades först ett stålskelett bestående av VKR-pelare och IPE-balkar.

COWI Kristianstad var intresserade av att undersöka möjligheten att exportera modellen från Revit Structure till FEM-Design 3D-Structure. Detta med hjälp av programtillägget *Revit to FEM-Design*. I frågeställningen ingick att undersöka möjligheten att exportera modellen tillbaka till Revit Structure.

Det var inte möjligt att exportera tillbaka filen från 3D-Structure till Revit Structure. Enligt Strusoft är en ny version av programmet, som möjliggör exporten tillbaka till Revit, tillgängligt våren 2012.

Vid exporten av den analytiska modellen från Revit Structure till 3D-Structure inträffade vissa komplikationer. Det visade sig att randvillkoren för pelare och balkar som ställdes in i Revit Structure stämde inte överens med i den exporterade modellen i 3D-Structure. Problemet åtgärdades av Strusoft och en ny version av programtillägget finns tillgängligt.

Att felet med randvillkoren inte stämde efter exporten ställer till med problem, då trovärdigheten hos programtillägget sjunkit. Författarna rekommenderar att rita beräkningsmodellen i ett separat beräkningsprogram. Den tid som läggs på att kontrollera modellen efter exporten kan man lika gärna lägga på att bygga en egen.

Alternativet att exportera modellen finns fortfarande. Men då får man inte glömma att göra en ordentlig kontroll så att allt stämmer med modellen i 3D-Structure.

Nyckelord: FEM-Design, Revit Structure, 3D-Structure, BIM, export, analysmodell, beräkningsmodell, samordning

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problem & frågeställning	1
1.3 Metod & disposition.....	2
1.4 Avgränsningar	3
2. Centrala begrepp	5
2.1 BIM	5
2.1.1 Parametriska förhållanden.....	5
2.1.2 Revit Structure.....	5
2.2 FEM- Finita element metoden.....	6
2.2.1 Element & frihetsgrader	7
2.2.2 FEM-Design 3D- Structure	9
2.3 Industry Foundation Classes	10
3. Projektering med BIM	11
3.1 BIM- Projektering istället för 2D-projektering	11
3.2 Samordning vid BIM- projekt	13
3.2.1 Samarbetsfunktioner i Revit.....	13
3.3 BIM- projektering med FEM	18
3.3.1 Implementering av FEM i BIM.....	18
3.3.2 Samarbete och arbetsfördelning mellan ritprojektör och byggkonstruktör.....	18
3.3.3 Färdiga bygghandlingar.....	20
4. Analys	23
4.1 Uppbyggandet av BIM- modellen.....	23
4.1.1 Organisation	23
4.1.2 Uppförandet av den strukturella och analytiska modellen	24
4.1.3 Stomstabilisering	28
4.2 Export av den analytiska modellen	29
4.2.1 IFC- vyer	29
4.2.2 Revit to FEM-Design	30
4.2.3 Exportinställningar	30
4.2.4 Översättning	31
5. Utvärdering	33
5.1 Export från Revit Structure till 3D-Structure	33
5.1.1 Material & Tvärsnitt.....	33
5.1.2 Kopplingar.....	33

5.1.3 Knäcklängder	34
5.1.4 Övrigt	34
5.2 Beräkningar och resultat i 3D-Structure.....	34
5.2.1 Laster	35
5.2.2 Lastkombinationer.....	36
6. Slutsatser & Diskussion	39
6.1 Revit som BIM- verktyg	39
6.2 Export mellan Revit Structure och FEM- design	39
6.3 Avgränsningens inverkan på slutsatsen.....	40
6.4 Förslag och rekommendationer till branschen	40
6.5 Förslag till framtida examensarbete	40
7. Källförteckning	42
7.1 Litteratur	42
7.2 Elektroniska dokument.....	42
A. Beräkningar	44
A1. Laster	44

1. Inledning

1.1 Bakgrund

En stor övergång för byggprojektörer i byggbranschen var vid överlappningen från ritbordet till 2D-CAD. Övergången innebar ett helt nytt sätt för projektörer att effektivisera arbetet och nyttja den digitala tekniken. Nu står vi inför en ny övergång, mellan 2D-CAD och BIM.

”Digital projektering och konstruktion skulle kunna spara både tid och stora pengar. Framtiden heter BIM, tredimensionella modeller av byggprojekt som även är databaser” skriver Nicklas Köhler i Byggindustrin.se (Byggindustrin 2008).

Intresset för BIM ökar för varje dag och det är ständiga diskussioner kring den relativt nya tekniken. Allt fler beställare och entreprenörer vill se nyttan med den nya teknologin. Fler företag i konsultbranschen har märkt fördelarna med att arbeta i BIM. Övergången från att rita på papper till att rita i 2D-CAD var endast en förändring som påverkade rittekniken. Övergången till BIM är inte bara en ritteknisk förändring utan ett nytt sätt att arbeta. Byggbranschen, till skillnad från andra teknikgrenar som exempelvis bilindustrin som har anammat tekniken mycket tidigare, är mycket konservativ och är trögstartat inför nya förändringar (Byggindustrin 2008). Initiativ saknas inte ute i branschen, där finns flertalet aktörer som har tagit BIM-frågan seriöst och samarbetar i ett gemensamt projekt kallat Open BIM. Tanken med projektet är att skapa en gemensam kravspecifikation för informationsleveranser inom virtuellt byggande. Målet med projektet är att branschen ska bygga både bättre och billigare. Enligt styrgruppen i projektet är tekniken tillräckligt bra men problemet ligger hos programvarorna som låser in informationen, vilket resulterar i svårigheter att exportera informationen mellan olika program. (Byggindustrin 2010)

Det stora problemet idag med BIM är samordningen. I artikeln *”Brist på samordning hotar BIM”* (Byggindustrin 2008). skriver Thomas Köhler att *”... det största problemet är att de olika programmen inte kommunicerar med varandra”*. Vidare i artikeln säger Gustav Jansson, affärsutvecklare för BIM på White Arkitekter, att olika aktörer i byggprocessen har svårt att lita på varandras uppgifter och att exempelvis mängdförteckningar görs om tio gånger under ett projekt. Lösningen på problemet ligger i att få programmen att samarbeta via ett standardiserat format. I artikeln drar man paralleller till MS Office formatet där flera program som Word, PowerPoint och Excel som obehindrat öppnar varandras textfiler. I över ett decennium har byggsektorn försökt att hitta ett liknande format som gör det möjligt för att överföra BIM-data mellan varandra. Det internationellt dominerande formatet i dagens läge är IFC- Industry Foundation Clases. (Byggindustrin 2008)

1.2 Problem & frågeställning

Att kunna erbjuda tjänster där projekteringen sker i BIM är en stor konkurrensfördel. En stor fördel i arbetet med BIM-verktyg är att man kan utnyttja de analytiska trådmodellerna som skapas i BIM-modellen till beräkningar. Efterfrågan för att kunna överföra den analytiska modellen från ett BIM-verktyg till ett beräkningsverktyg är stort i branschen. Processen uppfattas som bekväm och tidsbesparande, men det finns inte mycket erfarenhet kring detta. Ett litet fel i beräkningsmodellen kan orsaka stora påföljder för ansvarig byggkonstruktör.

I samarbete med konsultföretaget COWI har examensarbetet därför utformats till att undersöka kopplingen mellan BIM- verktyget Autodesk Revit Structure och FEM-programmet Strusoft FEM- Design 3D-Structure. Huvudsyftet med examensarbetet är att praktiskt undersöka kompatibiliteten mellan programmen. Följande frågor skall undersökas i examensarbetet:

- Hur fungerar Revit Structure vid projektering av ett stålskelett bestående av balkar och pelare?
- Är återföring av analysmodellen från FEM-Design till Revit möjlig?
- Hur fungerar exporten av beräkningsmodeller från ett BIM- verktyg till ett FEM-program i praktiken och vilka begränsningar finns vid en sådan export.

1.3 Metod & disposition

Genom litteraturstudie i form av tidningsartiklar från branschen studerades problemen med den nya tekniken BIM. Artiklarna hittades bland annat genom webbsökning. För att sedan undersöka om forskning hade gjorts inom ämnet söktes vetenskapliga artiklar i Lunds Universitets databas, LibHub.

För att grundligt förstå hur BIM- verktyget Revit Structure fungerar och hur den analytiska modellen byggs upp parallellt med den strukturella används ett referensobjekt i analysen. Referensobjektet är ett stålskelett bestående av balkar och pelare. Tanken är också att introducera vilka eventuella problem som kan uppstå i den analytiska modellen vid uppförandet av den strukturella. Referensobjektet skall sedan exporteras till analysverktyget FEM-Design 3D-Structure.

Detta görs genom programtillägget *Revit to FEM-Design* som finns inom Revit i form av en flik men som har utvecklats av Strusoft.

Efter exporten utvärderas den analytiska modellen. Där läggs stor vikt på hur beräkningsbar modellen är.

Data som har använts är främst vetenskapliga artiklar och artiklar från branschtidningar. Anledningen till att litteratur i form av böcker inte använts är pga. att teknikområdet är hela tiden under utveckling och böcker känns som en föråldrad källa. Det finns dock undantag, som exempelvis i beskrivning av stycken som finita elementmetoden, där skollitteratur är en bra källa att använda. I analysdelen av rapporten har utbildningsmaterial från programtillverkarna använts för att lättare komma igång med programmen. Vid beskrivningen hur Revit Structure fungerar vid samordning har främst Autodesk använts som källa. Detta har författarna haft i åtanke och har därför använt andra källor som exempelvis ett examensarbete från LTU som kritiskt undersökt samordningen i Revit.

Kapitel 2 och 3 har Revit Structure som BIM- verktyg undersökts samt hur samordningen går till i programmet. Detta är relevant i examensarbetet eftersom samordningen är en betydande del i BIM- projektering. Anledningen till att kapitel 2 och 3 finns med i rapporten är för att ge läsaren en inblick i vilka fördelar det finns i att arbeta med BIM. Dessutom är det intressant att undersöka samordningen i ett BIM- projekt då den är en viktig del av projekteringen.

I kapitel 4 byggs både den strukturella och den analytiska modellen upp i Revit Structure. Dessutom redovisas hur en export från Revit Structure till FEM-Design 3D-Structure ska gå till.

I kapitel 5 utvärderas resultatet av exporten av den analytiska modellen. Arbetet avslutas med kapitel 6 där diskussioner förs kring hur BIM- verktyget Revit Structure fungerar vid projektering av en stålstomme bestående av balkar och pelare i stål. Vidare diskuteras hur exporten från Autodesk Revit Structure till Strusoft FEM-Design 3D-Structure har fungerat. Kapitel avslutas med rekommendationer till branschen och exempel på framtida examensarbeten inom ämnet.

1.4 Avgränsningar

Rapporten behandlar endast programvarorna Revit Structure och FEM-Design 3D-Structure och kopplingen mellan dessa. Anledningen är främst av praktiska skäl. Programmen som undersöks i examensarbetet är populära på COWI och är tillgängliga. P.g.a. att COWI uppdaterade FEM-Design 3D-Structure från version 9 till version 10 under examensarbetet har endast version 10 används vid beräkningar.

Examensarbetet har också avgränsats till att undersöka en stålstomme bestående av balkar och pelare. Detta eftersom tidsramen inte tillät att undersöka andra konstruktionslösningar.

2. Centrala begrepp

Detta kapitel behandlar tre viktiga centrala begrepp som kommer att behandlas i rapporten. De centrala begreppen som i detta kapitel behandlas översiktligt är BIM, FEM och IFC.

2.1 BIM

Uttrycket BIM kommer från det engelska begreppet *Building Information Model* (eller *Building Information Modeling*) och introducerades först på 70-talet men fick sitt genombrott först när större ritprogramutvecklare så som Autodesk och Graphisoft började använda det. Det breda användningsområdet ger utrymme för förvirring och misstolkningar av vad uttrycket innebär (Eastman et al. 2008). Definitionen av BIM ser olika ut beroende på vem som blir tillfrågad:

”en modellbaserad teknik kopplad till en databas med projektinformation” (American Institute of Architects 2011)

”ett objektorienterat utvecklingsverktyg som utnyttjar 5D teknik, informationsteknik och interoperabilitet för att projektera, bygga och förvalta ett byggprojekt men också utbyta detaljinformation” (Associated General Contractors 2011)

”BIM är ett nytt sätt för branschen att hantera information som skapas och förändras under byggnadens hela livscykel, dvs. från projekteringsstadiet tills att byggnaden skall rivras” (Eastman et al. 2007).

BIM är inte CAD utan det är ett begrepp som innefattar CAD. En 3D-modell som endast visualiserar ett objekt och endast är tänkt att användas i presentationssyfte definieras inte som en BIM-modell. Den beskrivs istället som en ”död” grafik som endast visar utformningen. Generellt kan man beskriva BIM som en process där information om byggnadens alla delar samlas och förvaras systematiskt så att det kan nyttjas vid andra tillfällen. En BIM-modell kan därför beskrivas som information om en byggnads alla beståndsdelar visualiserade i en 3D-modell. Ett objekts geometriska utformning och dess materialegenskaper är exempel på information som kan lagras i en BIM-modell. (Jongeling 2008)

2.1.1 Parametriska förhållanden

Termen parametrisk refererar till förhållandet mellan de olika objekten i en byggmodell. De parametriska förhållandena möjliggör för ett BIM-verktyg att samordna och hantera förändringar som görs i byggmodellen. Förhållandet skapas antingen automatiskt eller manuellt av användaren själv. (Autodesk 2009)

Ett praktiskt exempel på parametriska förhållanden är balkar anslutna till en stödjande pelare som placeras i stomnät. När stomnätslinjen förflyttas kommer pelare därmed också att flyttas och balklängderna automatiskt att justeras. (Autodesk 2009)

2.1.2 Revit Structure

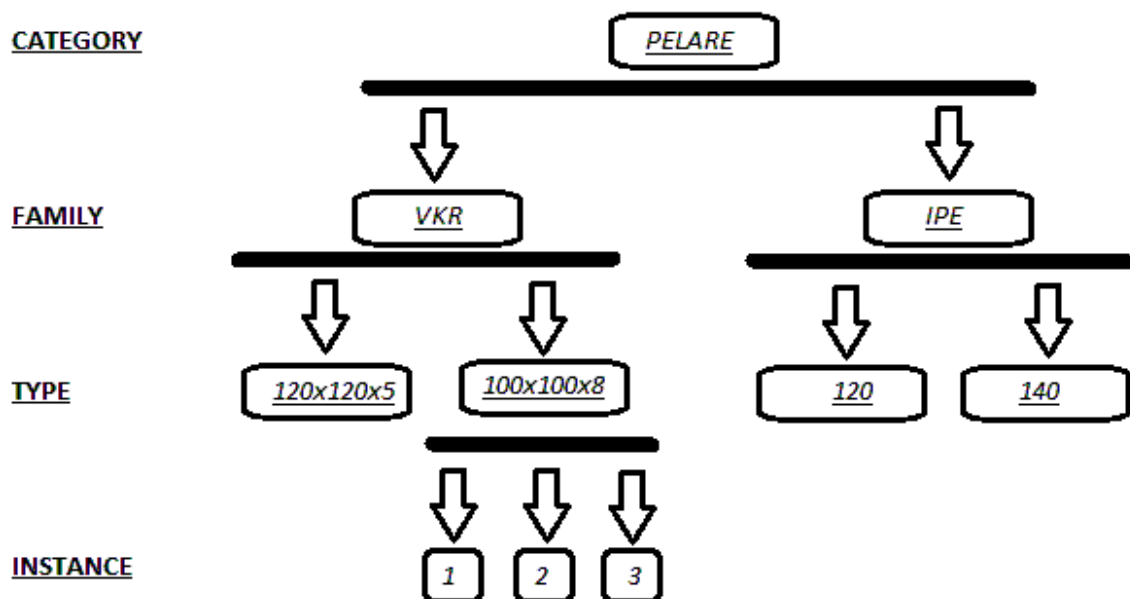
Autodesk Revit är en av de vanligare BIM-programmen som finns idag. Det finns tre olika typer av gränssnitt och vardera är anpassade för en specifik yrkesgrupp. Gränssnitten är Revit Architecture, Revit Structure och Revit MEP. Där Architecture används av arkitekter, Structure används av konstruktörer och MEP som används av VVS-konsulter. Med Revit

Structure bygger man en 3D-modell av objekt, exempelvis en byggnad. Modellen utgör en databas till vilken en mängd information kopplas.

Arbetsprocessen i Revit från idé till en färdig virtuell byggnad är inte linjär, utan med mängder av beslut, förändringar, revideringar mm. Autodesk hävdar att Revit är uppbyggd kring denna filosofi som också har låtit ge namn åt programmet (Revit=Revise Instantly som kan översättas till att revidera omgående)(Holmqvist, d'Elia 2009).

2.1.1.1 Revits familjer och element

Samtidigt som man bygger upp en modell i ett Revitprojekt bygger man upp en databas. Det är en mängd information som skall hanteras och förhålla sig till varandra på olika sätt. Det viktigaste är att man bör veta att enskilda objekt(*instance*) sorteras in under *Type*, *Family* och *Category*. För att underlätta förståelsen visas en trädstruktur i figuren nedan.



Figur 1. Revits familjetråd

Category är en grupp av element som till exempel alla sorters pelare.

Family är alla sorters pelare som bilden ovan visar. I Family räknas tvärsnittsformen och materialet. Exempelvis VKR.

Type

Varje familj kan bestå av olika typer av varianter, *types*. Exempelvis kan VKR- pelarens tvärsnittsmått variera.

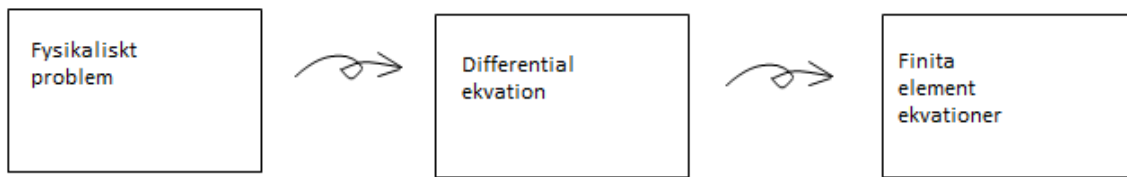
Instance

Varje enskilt objekt kallas *instance*. De olika objekten kan variera på olika sätt. En Pelare inom samma familj med samma *type* kan exempelvis ha en annan pelarlängd.

2.2 FEM- Finita element metoden

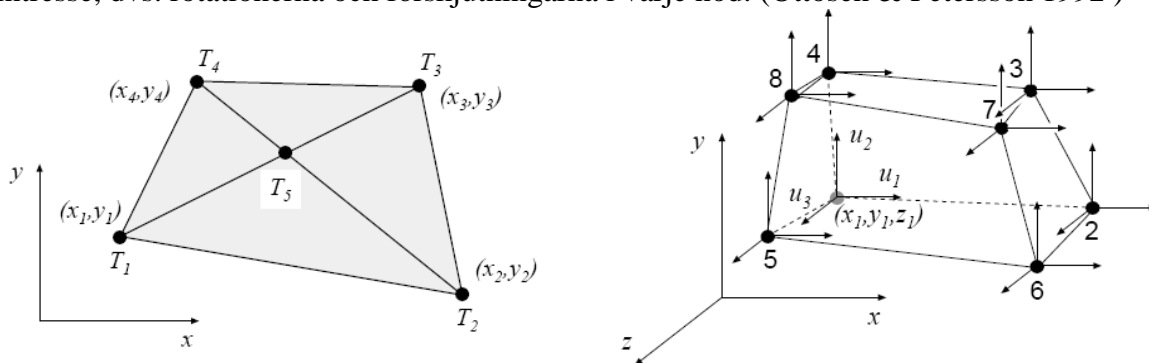
Finita elementmetoden är en numerisk metod som används för att lösa partiella differentialekvationer som är för svåra för att lösas analytiskt. Differentialekvationen eller ekvationen beskriver ett fysiskt problem över ett godtyckligt område. Området kan vara en-,

två- eller tredimensionellt. Istället för att söka en analytisk lösning över hela området delas det upp i mindre bitar, i så kallade finita element. (Ottosen & Petersson 1992)



Figur 2. Beräkningsgång för mekaniska analyser

Dessa små element bildar en finita elementmesh. Elementen i fråga består av noder, punkter som omsluter kroppen och placeras antingen vid hörnen eller på kanterna i ett element. Noderna består i sin tur av okända variabler som även kallas för frihetsgrader. Antalet frihetsgrader per nod bestäms av vilket fysikaliskt fenomen som studeras. Exempelvis för problem som har med värmeledning att göra används endast en frihetsgrad per nod, temperaturen. För tredimensionella solida problem är rörelserna av noderna som är av intresse, dvs. rotationerna och förskjutningarna i varje nod. (Ottosen & Petersson 1992)



Figur 3. Figuren visar ett 2-dimensionellt värmelement och den solid element (Austrell 2004).

När den typen av approximation har valts kan motsvarande beteende för varje element bestämmas. Detta kan utföras då förenklingarna över varje element är ganska enkla. När beteendet för varje element har bestämts så lappas dessa ihop med hjälp av specifika regler som leder till att en approximativ lösning för hela kroppen tas fram.

Den allmänna ekvationen för FEM med linjärelastiska problem formuleras i följande ekvation (Ottosen, Petersson 1992)

$$Ka = f$$

K är styvhetsmatrisen i ekvationen och beror på egenskaperna materialet har och vilket element det är, a är förskjutningsvektorn innehållande strukturens frihetsgrader. F är kraftvektorn och innehåller de krafter som verkar på strukturen. (Ottosen, Petersson 1992)

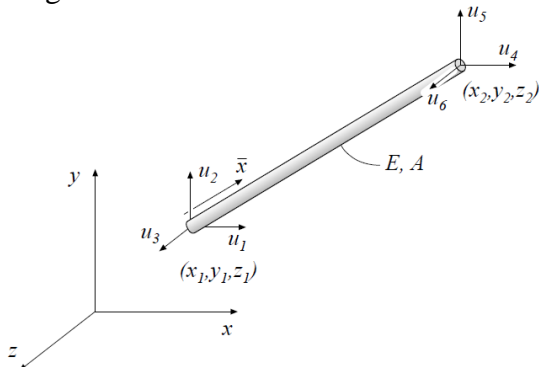
En viktig förutsättning för att kunna lösa ett FE- problem är att känna till de olika elementen och deras verkningsätt. Detta behandlas mer ingående i nästa avsnitt.

2.2.1 Element & frihetsgrader

Randvillkoren varierar beroende på vilket element som används i ett FEM- program.

Stänger och fackverk

En stång är en långsträckt kropp som bär last endast längs sin egen längdaxel. Ett fackverk består av stänger sammanfogade med friktionsfria leder. Exempel på byggnadsverk där stänger används är fackverkskonstruktioner som takstolar och vindkruss.

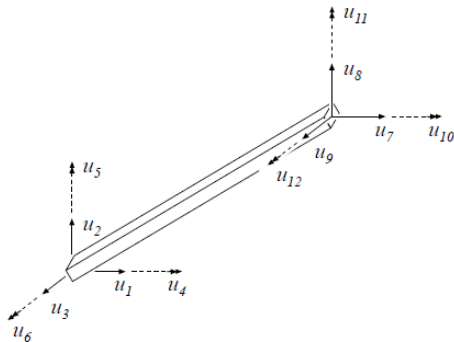


Figur 4. 3-dimensionellt stångelement (Austrell et al. 2004).

Som bilden visar har en tredimensionell stång tre förskjutningsfrihetsgrader i varje nod.

Balkar

En balk definieras av att den långsträckt kropp som kan både ta axiell last genom stångverkan och transversell last genom balkverkan. Exempel på byggnadsverk som modelleras som balkar är pelare och byggbalkar.

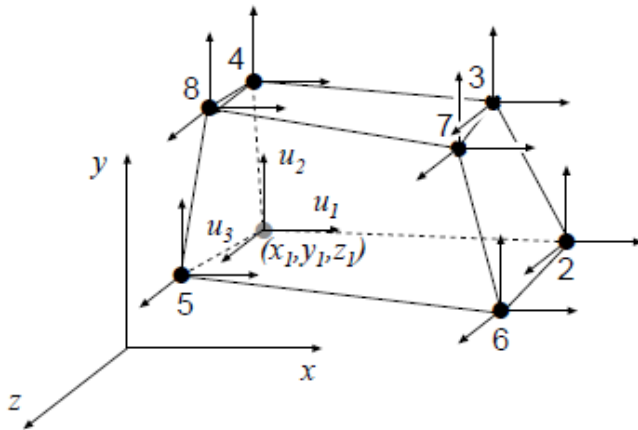


Figur 5. 3-dimensionellt balkelement (Austrell et al. 2004).

En tredimensionell balk består av 12 frihetsgrader, varav 6 är förskjutningar och 6 är rotationsfrihetsgrader.

Skivor

Skivor är ett solitt element som belastas i tvärsnittet. Byggelement som kan betraktas som skivor är t.ex. väggar.

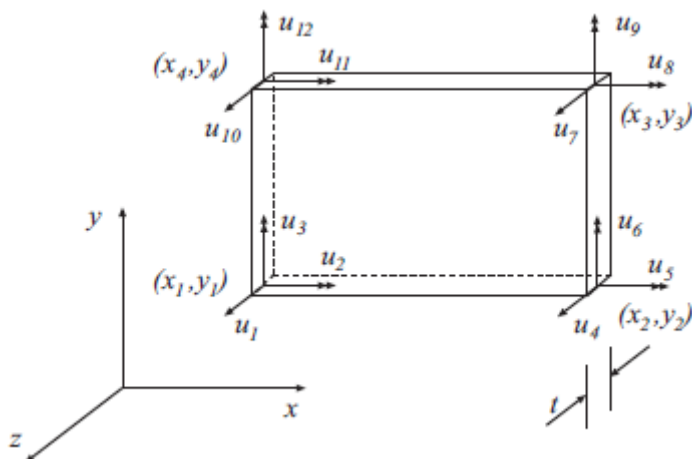


Figur 6. 3-dimensionellt skivelement (Austrell et al. 2004).

Som bilden visar omsluts det solida av 8 noder med tre förskjutningsfrihetsgrader i varje nod. Belastningen av ett skivelement sker parallellt med xz-planet.

Plattor

Plattor är solida element där tjockleken är liten i jämförelse med de andra dimensionerna. Platta belastas med krafter som verkar på den plana ytan. För att förenkla kan plattan ses i ett tredimensionellt rum där lasten verkar i en yta som är parallell med xy-planet. Lasten som verkar på plattan är positiv i z-riktningen (Austrell et al. 2004).



Figur 7. 3-dimensionellt plattelement (Austrell, 2004).

En platta består av 4 noder och tre frihetsgrader i varje nod. I varje nod finns det två rotationsfrihetsgrader, en som verkar kring x-axeln och en som verkar kring y-axeln. Slutligen finns det en tredje frihetsgrad som förskjuts i z-led.

2.2.2 FEM-Design 3D- Structure

FEM- Design är ett analysverktyg som främst används i byggbranschen. Tillverkarna till programmet är Strusoft. FEM- Design gör FE- analyser och används vid dimensionering av betong-, trä- och stålstrukturer (Strusoft 2011).

Precis som i Revit finns det flertalet olika gränssnitt som bl.a. 3D-structure, 3D-frame och Plate. Eftersom 3D-Structuregränssnittet används i examensarbetet kommer det i programmet härnäst kallas för 3D-Structure. 3D-Structure är uppbyggd på trådmodeller och

skalelement. Det betyder att själva programmet är tredimensionellt men att elementen inte är solida. (Strusoft 2011)

2.3 Industry Foundation Classes

Industry Foundation Classes (IFC) är en datamodell som möjliggör överföring av information mellan olika programvaror. IFC är ett objektbaserad filformat som har en öppen specifikation som kan användas av alla aktörer på marknaden. Den är också öppen i den bemärkelsen att den inte kontrolleras av ett enskilt företag som vill uppnå konkurrensfördelar genom ett eget filformat. Formatet har utvecklats av buildingSMART och tanken var att underlätta interoperabiliteten för de olika mjukvaruplattformarna i byggbranschen, dvs. att mjukvaruprogrammen skall kunna kommunicera med varandra genom överenskomna regler. (buildingSMART 2011)

Ingen programvara implementerar hela IFC-specifikationen. Datautbytet sker istället i delmängder som heter vyer (eng: views), designade för att tillgodose ett utbytesscenario. För tillfället finns det bara en standardiserad vy. (IFC 2011):

IFC2x3 Coordination View Version 2.0- IFC-delmängd för samordning av arkitekt-, installatörs- och konstruktörsmodeller under byggnadsprojektering. Utöver denna är ytterligare tre under utveckling.

IFC2x3 Structural Analysis View- IFC-delmängd för utbyte av strukturella analysmodeller mellan modellerings och – analys programvaror.

IFC2x3 Quantity Take-off View – IFC-vy som möjliggör överföring av information från BIM- modell för att kunna göra kostnadskalkyler.

IFC2x3 FM HandOver View – IFC-vy som möjliggör överföring av information som är relevant för fastighetsförvaltningsbranschen.

3. Projektering med BIM

Att gå från att projektera i 2D-CAD till projektering med BIM-verktyg är ett stort steg. Utöver att den rittekniska biten förändras, är sättet att projektera också annorlunda. I detta kapitel beskrivs skillnader och fördelarna att arbeta i BIM jämfört med att arbeta tvådimensionell CAD. Närmare studier på hur samordningen sker i praktiken med Revit redovisas också i detta kapitel.

3.1 BIM- Projektering istället för 2D-projektering

Projekteringsstadiet i ett byggprojekt kan kortfattat beskrivas till en process där arkitekter och övriga konsulter i byggbranschen använder CAD-verktyg för att få fram underlag till byggprojekt och förvaltningsbranschen. Underlaget består av ritningar och beskrivningar av ett projekt. Ritningar visas i form av våningsplan, sektioner och detaljer, där varje projektör ansvarar för sin eget område. (Jongeling 2008)

Vid 2D-projektering redovisas horisontella modeller per våningsplan. Modellerna byggs upp med 2D-linjer och symboler från bibliotek. Utöver våningsplanerna tar arkitekter och byggprojektörer fram sektioner, fler olika snitt i modellen, för att redovisa bl.a. våningshöjder och invecklade detaljer. Utöver ritningar sammanställs beskrivningar och listor, med hjälp av 2D-modellerna, som beskriver innehållet i projektet. (Jongeling 2008)

Problemet med 2D-projekteringsunderlag är att allt ska stämma överens. En liten revidering i ett av underlagen kan ställa till med stora problem. Exempelvis en dörr som tas bort innebär att alla ritningar där dörren förekom måste uppdateras. En ändring som inte bara påverkar den enskilde aktören utan det kan vara alla aktörer som är inblandade i projektet. Revideringsprocessen är tidsödande och den mänskliga faktorn har en stor inverkan i resultatet. Dessutom upplevs processen i många fall som gammalmodig och tråkig. (Jongeling 2008)

BIM- projektering utgår ifrån ungefär samma princip som projektering med 2D. Man jobbar med en modell för att sedan ta fram olika typer av förslag. Skillnaden är att i BIM arbetar man med en intelligent modell som dessutom är tredimensionell. Objekt i BIM-modellen är strukturerade enligt objektstruktur. Det betyder att objekten innehåller för datorn tolkningsbara parametrar som exempelvis längd, höjd, volym, material, egenskaper m.m. Detta innebär att med hjälp av ett BIM- verktyg kan man automatiskt få fram visualisering i 2D- och 3D, i olika skalor på planer och sektioner. Snitt som tas från modellen är i regel 50-80% färdiga ritningar. (Jongeling 2008)

Från BIM-vektygen kan sedan materiallistor, beskrivningar, produktionsritningar tas fram från samma informationskälla, detta minimerar risken för felaktigheter i underlagen. Förutom kvalitetssäkringen är det mer produktivt att arbeta i jämförelse med ett 2D-projekt. Produktiviteten beror i huvudsak på att informationen som skapas en gång kan sedan användas vid framställning av olika typer av underlag. (Jongeling 2008)

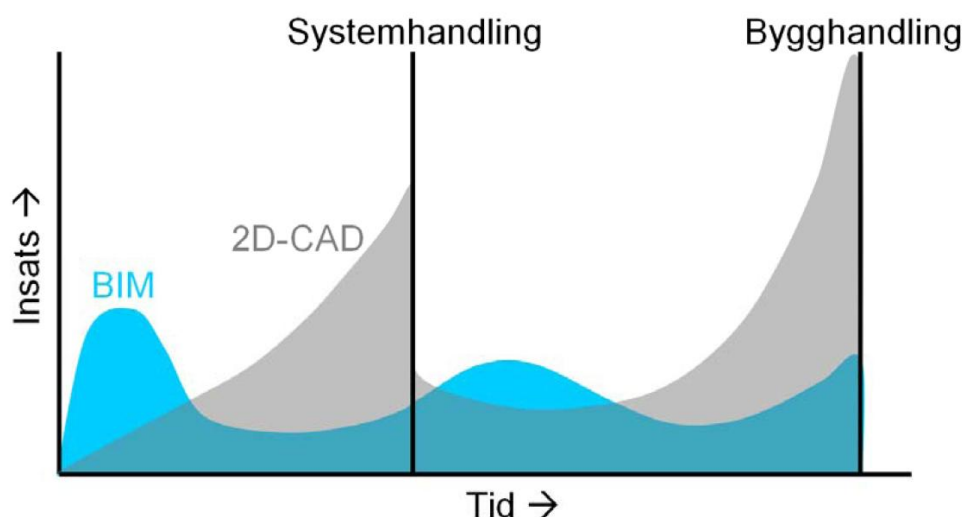
I tabellen nedan framgår skillnaden i tid för att ta fram ett underlag i BIM kontra ett i 2D. Tabellen visar dessutom skillnaden i kvalitet på underlaget.

Tabell 1. Jämförelse mellan BIM- och 2D- CAD att producera underlag i tid och kvalitet. (Jongeling 2008)

	Skillnad i tid		Kvalitet
2D-ritningar			
System och bygglovshandlingar			
A	0 - 20 %	Oförändrad\Minskning	Högre
K	0 - 20 %	Oförändrad\Minskning	Högre
Bygghandlig			
A	30 - 50 %	Minskning	Mycket högre
K - plan/sektion	10 - 20 %	Minskning	Mycket högre
K - tillverkning	30 - 40 %	Minskning	Mycket högre
VVS	20 - 30 %	Minskning	Mycket högre
EL	0 - 20 %	Oförändrad\Minskning	Högre
Beskrivningar, rapporter och materialmängder			
A	50 - 70 %	Minskning	Mycket högre
K	50 - 70 %	Minskning	Mycket högre
VVS	50 - 70 %	Minskning	Mycket högre
EL	30 - 40 %	Minskning	Högre

Tabellen ovan är baserad på intervjuer med olika projektörer som är inblandade i projekteringsfasen. Av de intervjuade arkitekterna och de övriga byggprojektörerna är den totala tiden för att ta fram underlag i tidiga skeenden, dvs. system- och bygglovshandlingar, oförändrad eller mindre. Tidsvinsten för framtagande av underlag vid projekteringsens senare del är betydligt högre än i tidiga skedet. (Jongeling 2008)

Följande figur som hämtats från Rogier Jongelings rapport ”BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt” illustrerar schematiskt den totala arbetsbelastningen vid projektering med BIM-verktyg jämfört med 2D-CAD verktyg.



Figur 8. Skillnaden i arbetsbelastning för projekt med CAD-verktyg jämfört med BIM-verktyg. (Jongeling, 2008)

Figur 8 visar hur det i början av ett projekt krävs en större arbetsinsats med BIM- verktyg, som man sedan tar igen. Den totala arbetsbelastningen av projektering med BIM- verktyg är

mindre än med 2D-verktyg. Det betyder inte per automatik att det blir en kortare projekteringstid för arkitekter och byggprojektörer. Enligt Rogier Jongelings rapport tycker användaren att verktygen är mer komplexa än 2D-verktyg och att det krävs mer till utbildning och underhåll. (Jongeling 2008)

3.2 Samordning vid BIM- projekt

För att kunna genomföra projektering med BIM- verktyg på ett effektivt och lyckat sätt krävs i första hand en god samordning mellan de olika projektörerna. I projektering ansvarar varje projektör för sitt eget teknikområde och redovisar sina egna ritningar. Utmaningen är att få de olika disciplinerna att fungera som en integrerad lösning, vilket inte kan vara den lättaste utmaningen i ett byggprojekt. Detta kan exempelvis vara att stommen ska uppfylla kraven för byggnadens strukturella funktionalitet, men skall också passa arkitektens utformning av huset. Listan på system som måste integreras är mycket lång. I projekteringsfasen måste man göra vissa val tidigare än man vill och vissa val tvingas man göra när det egentligen är för sent. Ändå måste man göra det som ett integrerat system. (Jongeling 2008)

I traditionell projektering hanteras information med hjälp av 2D-ritningar och beskrivningar. Där är varje aktörs uppgift att visa sina modeller i form av planer, sektioner och detaljer. Det krävs då en ganska stor mängd ritningar för att få en komplett vy. Detta resulterar i stora påfrestningar på samordningen och vissa beslut måste kanske lösas på arbetsplatsen. (Jongeling, 2008)

3.2.1 Samarbetsfunktioner i Revit

Här behandlas tre olika sätt för olika aktörer i projekt att samarbeta. BIM- projektering är tänkt att förbättra kommunikation, produktivitet, leveranstid och kvalitet under hela livscykeln för en byggnad. För att det ska uppnås måste informationsbytet mellan de aktörer som samarbetar på samma projekt fungera. Om informationsbytet sker inom Revits ramar, kan man antingen länka en modell, som då ligger som en kopia på samarbetsparters arbetsplats. Alternativt kan man arbeta utifrån en gemensam modell som ständigt uppdateras. Sker samarbetet mellan två BIM- verktyg med olika filformat, använder man möjligheten att importera och exportera mellan varandra i ett gemensamt filformat.

3.2.1.1 Länkning mellan olika modeller

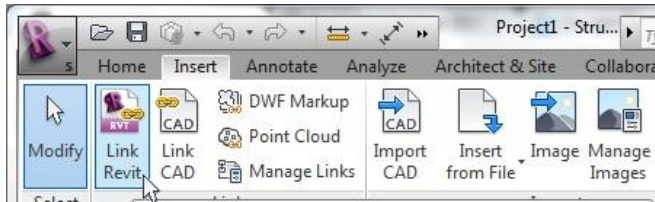
Ett samarbete genom länkning mellan olika modeller möjliggör att alla som är involverade i projekteringen, kan arbeta avskilt från varandra i varsin modell, på samma gång ska de kunna ha översikt på varandras arbete. På så sätt kan de följa de förändringar som görs med tiden och sedan anpassa sitt arbete utifrån det. En länkad modell ligger endast som en kopia av den ursprungliga filen. Det betyder att man inte kan göra några förändringar på modellen utan bara använda den som utgångsmodell för det egna arbetet. (Autodesk 2011)

Att länka en modell

Länkning mellan Revit- modeller är främst avsedd för länkning mellan separata byggnader. När en Revit- modell kopplas till ett projekt kommer Revit att öppna den länkade modellen och hålla den på minnet. Detta medför att ett projekt med många länkade modeller tar längre till att öppnas. De kopplade modellerna finns listade i en gren av "Project Browser". Det är även möjligt att konvertera Revit- modeller till gruppera och tvärt om. Exempel på när man kan nyttja möjligheten att konvertera Revit-modeller till gruppera är när geometrin mellan de olika modellerna överensstämmer, som exempelvis hotellrum och lägenheter. (Autodesk 2011)

Det rekommenderas att använda länkande modeller när man behandlar:

- Separata byggnader på samma bygge
- Delar av byggnaden som är konstruerade eller anpassade för olika ritningsuppsättningar
- Samordning mellan till exempel en arkitektonisk modell och en strukturell modell
- En design som geometriskt upprepar sig, som till exempel radhusmodeller och våningsplan, kan länkas i ett tidigt stadium. I senare stadium är det dock inte rekommenderat att skapa en enda byggnadsmodell med länkade modeller.



1. Klicka Insert fliken → Link panel → Link Revit
2. Hitta den modell som du vill länka
3. Ange önskade placerings alternativ och klicka Open

För och nackdelar

Fördelar i att samarbeta i ett projekt där man arbetar genom ”Länkning av Modeller”:

- Förenklad kommunikation i samarbetet med hjälp av skrift och visualisering i Revit Strukture.
- Informationsförluster och risken för att någon annan gör förändringar minskar då man inte behöver exportera och importera filer mellan varandra.
- Den senaste versionen av en modell kan snabbt och enkelt erhållas. Man uppdaterar då länkarna från sina medarbetare.

Nackdelar med att samarbeta i ett projekt där man arbetar genom ”Länkning av Modeller”:

- I många projekt används olika BIM-verktyg och metoden kan därför inte används i praktiken.
- Det ska finnas en bra förståelse för länkinings-inställningarna för att undvika misstag.
- En god struktur i projektet är ett måste då man samarbetar med andra där informationsutbytet trots allt är begränsad. (Dursun 2010)

3.2.1.2 Att samarbeta med en gemensam modell

En annan arbetsmetod är att arbeta i en gemensam modell. I Revit är det möjligt för flera aktörer att med hjälp av funktionerna ”Worksharing” och ”Workset” arbeta utifrån samma modell. Med hjälp av ”Workset” samordnas alla aktörer och på så sätt har de även ständig uppsikt över övriga aktörer i projekteringen. ”Worksharing” skapar en central fil som fungerar som en plattform som alla aktörer utgår från och ständigt uppdaterar. (Autodesk 2011)

Worksharing

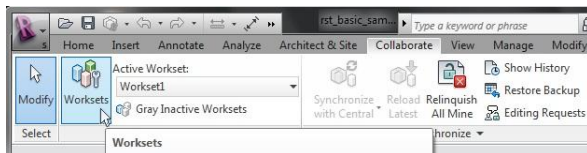
Funktionen ”Worksharing” används när man har andra medarbetare som jobbar på samma projekt. I en arbetsgrupp kan arbetet vara uppdelat och behöver därför en funktion som samordnar detta. När du aktiverar ”Worksharing” i ett projekt, kommer Revit att skapa en central fil. Den centrala filen fungerar som en databas och lagrar alla förändringar som görs i projektet och i de olika ”Workset”-en. När en central fil har skapats, rekommenderas det att man sedan arbetar utifrån en lokal kopia av den centrala filen. Alla förändringar publiceras sedan i den centrala filen och användare kan därefter ladda varandras arbete och förändringar. (Holmqvist, d’Elia 2009).

Att påbörja ”Worksharing”

”Worksharing” skapar alltså en möjlighet för fler medarbetare att arbeta på samma modell utifrån respektive ”Workset”. När man påbörjar ”Worksharing” skapas en central fil som lagrar ägandeskap på alla ”Worksets” och medarbetarna uppdaterar respektive del av modellen. ”Worksharing” skapas enligt följande (Autodesk 2011):

- Öppna den projektfil som du vill ha som den centrala filen
- Klicka på fliken Collaborate → Worksets panelen → och klicka sedan på verktyget

Worksets



- ”Worksharing”-dialogrutan uppträder och visar de standard ”Worksets” som kan skapas. Klicka sedan OK

Att arbeta med Worksets

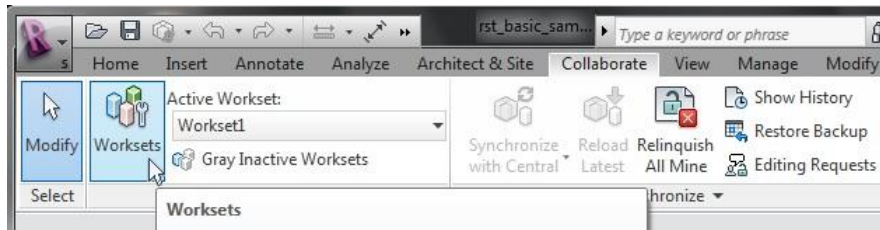
Att arbeta med ”Worksets” möjliggör uppdelning av en modell efter det behov som finns under projekteringsfasen. Behovet kan till exempel vara att dela upp en modell efter de aktörer som arbetar på modellen. Ett ”Workset” kan även beskrivas som en samling av olika byggnadsdelar såsom väggar, golv, trappor eller dörrar. Vid ett samarbete när ”Worksharing” påbörjats skapas automatiskt ett antal standard-Worksets. (Autodesk 2011)

Owner och borrower

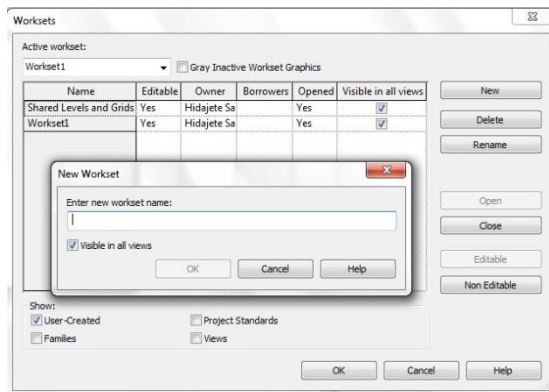
Ett Workset är alltså en del av modellen som en aktör redigerar och arbetar med. För att undvika att en utomstående aktör ska göra förändringar i det egna Worksetet har Autodesk utvecklat ett system där det kan finnas en ägare av modellen s.k. *Owner* som måste medge eventuella förändringar som kan göras av utomstående s.k. *Borrowers*. Konflikter mellan Worksets i en modell kan därför lösas på ett smidigt sätt, att man själv med ett medgivande kan gå in och redigera eller att Owner-n själv gör förändringarna. (Autodesk 2011)

Att skapa ett Workset

- Öppna den centrala filen av din modell
- Klicka på fliken Collaborate → Worksets panelen → Worksets och klicka sedan på ”New”



- Ange namn och andra specifikationer för det nya *Workset*-et och klicka sedan ”OK”



För och nackdelar

Fördelar med att samarbeta i ett projekt där man arbetar i ”*Workset*’s”:

- Förenklad kommunikation i samarbetet med hjälp av skrift och visualisering i Revit Structure.
- När man arbetar med ”*worksets*” kan man välja att bara ”tända” de vyer man arbetar med. Man visualiserar då bara de delar man arbetar med. Man kan även helt stänga ner ”*worksets*”, för att till exempel bättre utnyttja datorns prestanda.
- Informationsförluster och risken för att någon annan gör förändringar minskar då man inte behöver exportera och importera filer mellan varandra.
- Den senaste versionen av en modell kan snabbt och enkelt erhållas.

Nackdelar med att samarbeta i ett projekt där man arbetar i ”*Workset*’s”:

- I många projekt används flera BIM-verktyg och metoden kan därför inte användas i praktiken.
- När flera discipliner arbetar på samma projekt och modell kan det vara svårt att bevisa vem som gjort vad, och när fel uppstår vem som är skyldig att åtgärda det.
- Med många medarbetare involverade kan modellfilen snabbt växa och bli tungdriven för datorerna.
- En god struktur i projektet är ett måste då man samarbetar med andra där informationsutbytet trots allt är begränsad. (Dursun 2010)

3.2.1.3 Att samarbeta mellan olika BIM- verktyg

Det tredje och kanske vanligaste sättet att samarbeta på är att importera och exportera filer. I de två förstnämnda samarbetsmetoderna förutsätts att alla aktörer använder Revit i projekteringen. Revit Structure är bara en av många BIM- verktyg som finns ute på marknaden. Varje BIM- program producerar filer i det egna filformatet och ett samarbete mellan olika discipliner som nyttjar olika BIM- verktyg kan därför bli problematiskt. (Autodesk 2011)

Importera/Exportera

Ett försök att kringgå problemet är att BIM- verktygen ska kunna importera och exportera sina filer och modeller i ett filformat som är gemensamt för de flesta BIM- program. På så sätt ska aktörer som föredrar att arbeta med olika BIM- verktyg kunna samarbeta och ha nytta av den information som följer med modellen. (Autodesk 2011)

Att importera och exportera IFC-filer från Revit

När en Revit BIM- modell exporteras till IFC-format kan informationen användas av andra aktörer, såsom exempelvis konstruktörer. Revits BIM- modeller sparas vanligtvis i RVT-format, och kan därför inte användas i andra program. Revit och andra BIM- program som är IFC-certifierade kan ha ett informationsbyte. För- inställningar för IFC-filerna bestämmer vilken information och vilka parametrar som lagras och är överförbara. Det går även att redigera i IFC-filerna så att man själv bestämmer vilken information som är relevant och skall följa med. (Autodesk 2011)

Exportera ett projekt till IFC-format

- Innan du exporterar ett Revit- projekt, kan du behöva redigera mappstrukturen i IFC-behållaren. Klicka därför Export → Options → IFC Options för att förinställda IFC-filen.
- Klicka sedan på Export → IFC och välj var IFC-filen ska sparas.
- I dialogrutan kan du även välja alternativ för IFC- format, och export- alternativ. I den sistnämnda kan du till exempel välja att bara exportera synliga delar av modellen.
- Ange namn och spara filen

För och nackdelar

Fördelar med att samarbeta i ett projekt där man arbetar genom att exportera/importera filer:

- I projekt med flera discipliner är även ofta flera företag inblandade som då kan använda olika BIM- verktyg. Man slipper då lära sig nya program när möjligheten att exportera/importera filer finns.
- Eftersom informationsbytet sker genom att filer i IFC-format lagras på en server med gemensam tillgång, slipper man problem med brandvägg eller liknande.

Nackdelar med att samarbeta i ett projekt där man arbetar genom att exportera/importera filer:

- IFC-filformatet är ett öppet filformat och därför inte fullt pålitligt. Vid export/import kan information försvinna.
- Arbetsmodellen kan inte uppdateras utan måste ersättas med en ny fil i fall ändringar görs.
- Om mer än en medarbetare arbetar på modellen så går inte att se vem som gjort revideringar utan man måste ha ett annat sätt att kommunicera på. (Dursun 2010)

3.3 BIM- projektering med FEM

I projekteringsfasen av ett byggprojekt utgår byggkonstruktören ofta från arkitektens ritningar för att utforma sina ritningar vid nybyggnadsprojekt. I vanliga fall påbörjar konstruktören sitt arbete efter att arkitekten har avslutat sitt. Ovan redovisades olika samarbetsmetoder som kan användas vid ett samarbete byggprojektörer emellan. Nedan visas hur samarbetet kan se ut när FEM är kopplat till BIM.

3.3.1 Implementering av FEM i BIM

FEM-beräkningar är en vardag för många byggkonstruktörer. FEM-beräkningar används ofta då det är svårt att lösa ett problem analytiskt. Att rita upp en beräkningsmodell kan vara en tidskrävande syssla och man vill utnyttja sin modell till fullo. I BIM-verktyg som Revit Structure finns möjligheten att bygga upp en analytisk modell parallellt med den strukturella. Den analytiska modellen kan sedan användas i beräkningsverktygen för att utföra konstruktionsberäkningar av exempelvis hela byggnader eller strukturer.

I examensarbetet testas exporten av den analytiska modellen från Revit Structure till Strusoft FEM-Design, som båda är populära verktyg i branschen. En praktisk genomgång av hur en modell, dvs. den strukturella och analytiska, byggs upp i Revit samt hur exporten fungerar redovisas i kapitel 4.

Enligt Strusoft, som också utvecklar programtillägget för export av modeller, är tanken att exporten av modeller skall ske genom tvåvägs länkning. D.v.s. att den analyserade modellen ska kunna återföras till BIM-verktyget som används.

3.3.2 Samarbete och arbetsfördelning mellan ritprojektör och byggkonstruktör

COWI kontoret i Kristianstad är ett litet kontor, där variationen mellan stora och små projekt är stor. Samarbetet mellan byggkonstruktören och ritprojektören beror mycket på hur stort projektet är. Är projektet litet brukar konstruktören jobba ensam med det. Små projekt kan vara renoveringsprojekt, liten tillbyggnad osv. Vid större projekt där arbetsbördan blir lite större får byggkonstruktören oftast hjälp av en ritprojektör på kontoret. I och med möjligheten att utföra beräkningar på BIM-modeller förändras också samarbetet. Vid ett större projekt där både ritprojektören och byggkonstruktören samarbetar måste tydliga arbetsuppgifter bestämmas.

Det finns två scenarier hur byggkonstruktören och ritprojektören kan samarbeta med varandra i ett BIM-projekt kopplat till FEM där exporten sker med programtillägg. Beroende på hur långt Strusoft har kommit med utvecklingen av programvaran som exporterar analytiska modeller mellan BIM- och FEM-program:

- Det ena scenariot är om Strusoft inte hunnit med att utveckla exporten från Revit Structure → FEM-Design → Revit.

I en ideal värld är tanken att ritprojektören ritar modellen i Revit Structure och när personen i fråga är nöjd skickas analysmodellen till byggkonstruktören. Byggkonstruktörens arbetsuppgifter i Revit Structure är följande:

I Revit

- Undersöka om modellen är kontinuerlig. Är den inte det skall den justeras.
- Utforma analytiska kopplingar mellan elementen.
- Exportera modellen till FEM-Design

I FEM-Design

- Justera elementen genom dimensionering. Viktiga parametrar i uppdragen är:
 - Utnyttjandegrad
 - Deformation
- Återföra modellen tillbaka till BIM- verktyget som då är Revit Structure
- Skicka iväg filen till projektören som färdigställer modellen

En sammanställning med för- och nackdelar redovisas nedan. Eftersom tvåvägs länkning inte finns mellan programmen är det bara spekulationer på vilka problem som kan uppstå.

Fördelar

- Tidsbesparande, om den återförda modellen fungerar korrekt och geometrin i BIM- verktyget stämmer överens med projektörens önskemål.
- Vattentät överföring genom att man undviker den mänskliga faktorn.
- Undvika den manuella exporten.

Nackdelar

- Granskning av bygghandlingar krävs fortfarande
- Spekulationer om att den återförda beräkningsmodellen kan förändra geometrin i BIM- modellen på ett icke önskvärt sätt. Det kan exempelvis vara vid förändring i dimensionerna av en takbalk som inte får växa uppåt, man vill helst behålla ytterkonturerna.
- En annan spekulation är att det ställs större krav i samarbetet mellan ritprojektör och byggkonstruktör. Det kan exempelvis vara en förändring som har gjorts i beräkningsmodellen men syns inte i BIM- modellen. Då krävs det fortfarande en verbal eller skriftlig kommunikation.

Det andra scenariot är där exporten av beräkningsmodellen befinner sig dagens läge. Beräkningsmodellen kan bara exporteras från Revit Structure till FEM- Design. Arbetsprocessen ser ungefär likadan som i förra scenariot. Ritprojektören bygger fortfarande sin BIM- modell och skickar vidare den till byggkonstruktören, som gör följande:

I Revit

- Undersöka om modellen är kontinuerlig. Är den inte det skall den justeras.
- Utforma analytiska kopplingar mellan elementen.
- Exportera modellen till FEM-Design.

I FEM-Design

- Justera elementen genom dimensionering:
 - Utnyttjandegrad
 - Deformation
- Återföra modellen manuellt. Antingen i samråd med projektören eller att konstruktören själv gör eventuella förändringar.

Nedan sammanställs för och nackdelar med det andra scenariot.

Nackdelar

- Mänskliga faktorn. Kommunikationsmiss mellan ritprojektör och byggkonstruktör.

- Kan vara tidskrävande beroende på hur mycket som behöver ändras i modellen.

Fördelar

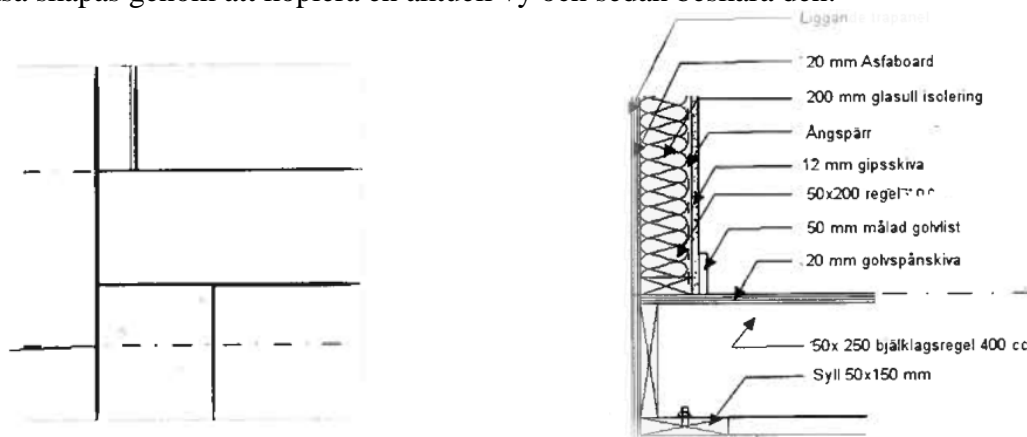
- Om det är ett fåtal förändringar som skall utföras kan det vara mer tidsbesparande än vid återföring av modellen.
- Krockar vid återföring försvinner.
- Projektören får insikt i byggkonstruktörens arbete. Det är nästan ett måste för att projektören skall utvecklas.
- Involverar ritprojektören i konstruktörens arbete. Projektören får alla eventuella uppdateringar manuellt. Vid automatiska överföringar hade inte kopplingen sett likadan.
- Bättre kontroll över processen.

3.3.3 Färdiga bygghandlingar

Självklart kan en tredimensionell BIM- modell inte vara fullständig. För det första är det otroligt svårt att sitta och försöka rita in allt i minsta lilla detalj i 3D. Även om man har ambitionen och viljan att göra det är det mycket tidskrävande. Kompletterande detaljer görs då tvådimensionellt antingen genom ett externt 2D-CAD program eller i Revit Structure som använder sig av detaljvyer. Kompletteras 3D- vyn med 2D-ritningar i Revit Structure används någon av sido- eller planvyerna. Vyn kompletteras sedan med 2D komponenter, text och annotationssymboler (Autodesk 2009). Tanken är att kompletterade 2D detaljer skall göras i Revit Structure så att samordningen blir bättre genom att ha både modellen och kompletterade vyer i ett och samma ställe.

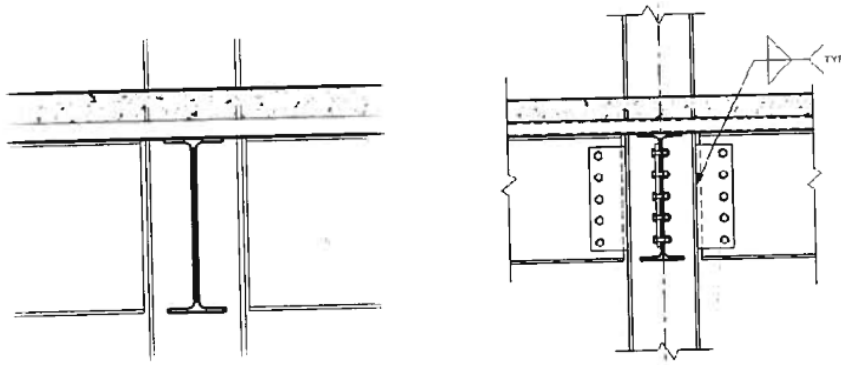
3.3.2.1 Definition av detaljvyer

En detaljvy är en sektion eller detaljhänvisning från en befintlig vy i modellen. Detaljvyn skapas genom verktygen *section* eller *callout* på *createpanelen* under *View fliken*. Den kan också skapas genom att kopiera en aktuell vy och sedan beskära den.



Figur 9.n T.v.: Detaljvy sektion före detaljering T.h.: Detaljvy med kompletteringar (Autodesk 2009).

Figuren ovan visar hur en tom sektionssvy kompletteras med material- och textbeskrivningar.

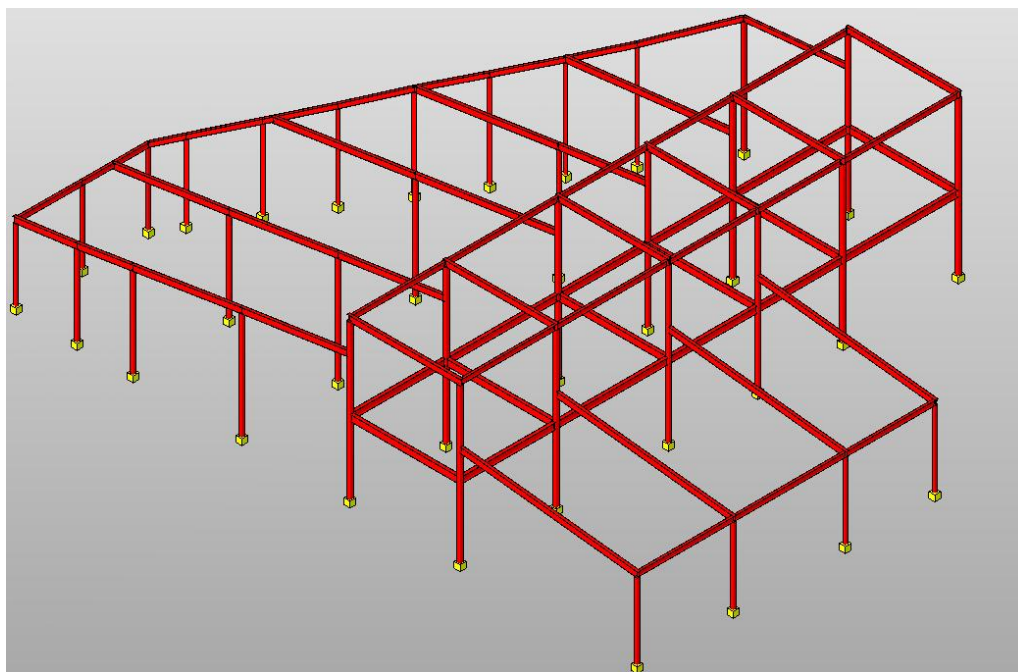


Figur 10. T.v.: Detaljvy sektion före detaljering T.h.: Detaljvy med kompletteringar(Autodesk 2009).

Figuren visar en IPE-balk som kompletteras med beslag och gör ritningen användbar i produktionen.

4. Analys

I följande kapitel skall en BIM- modell undersökas hur väl den fungerar som underlag vid en analys och dimensionering. Syftet är att undersöka hur ett framtida samarbete mellan CAD-ritare och byggkonstruktör fungerar i praktiken. Utgångsläget är att använda Revit Structure som parallellt bygger upp två modeller, en strukturell och en analytisk modell. BIM- modellen i fråga är ett referensobjekt bestående av VKR- pelare och IPE-balkar med varierande storlekar, som har fått namnet "Stålstommen". P.g.a. överenskommelse med COWI har detaljnivån och mer ingående information om referensobjektet begränsats. Figuren nedan visar "Stålstommen" modellerad i Revit.



Figur 11. Stålstommen utan vindkryss i Revit.

Programmen som har använts i examensarbetet är följande:

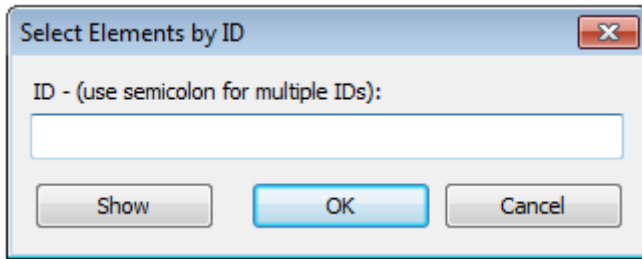
	Version
Autodesk Revit Structure	2011x64
Strusoft Revit to FEM-Design	1.2.005
Strusoft FEM-Design	10.0, 9.0

4.1 Uppbyggandet av BIM- modellen

Kapitel 4.1 kommer att behandla *Revit Structure* som BIM- verktyg samt programtillägget *Revit to FEM-Design*.

4.1.1 Organisation

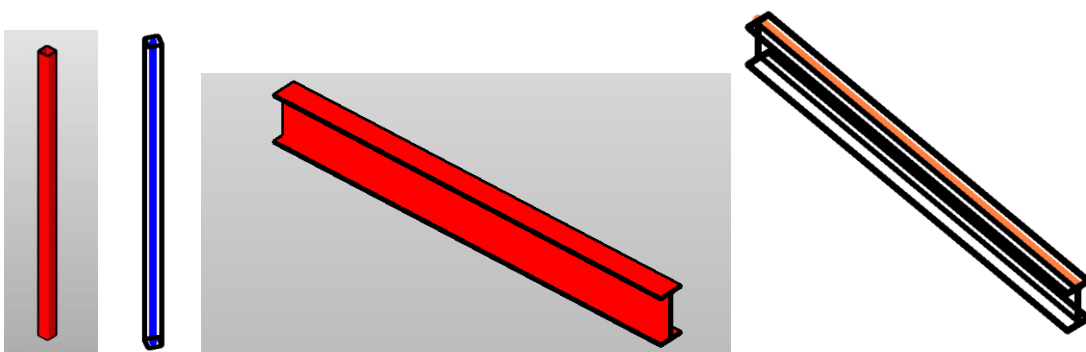
För att få en organiserad struktur i ett projekt med många byggnadselement, som Stålstommen innehåller, måste varje specifikt element anges med ett speciellt ID. I Revit finns det förinställda ID-nummer för varje speciellt element. I samband varningsmeddelanden anges dessa ID-nummer och via verktyget som heter *Selected by ID*, som finns under fliken *Manage*, letar upp det sökta elementet.



Figur 12. Dialogruta till ID- kommandot

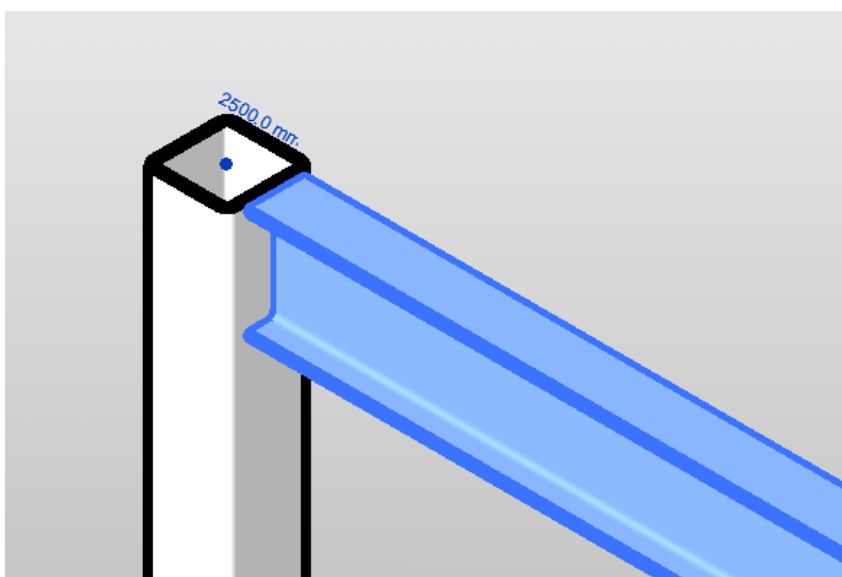
4.1.2 Uppförandet av den strukturella och analytiska modellen

I Revit har varje typ av strukturellt objekt en specifik analytisk linje, där pelare har en blå och balkar har en orange färg.



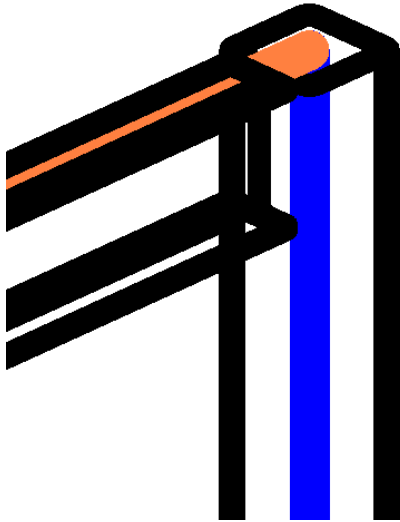
Figur 13. Till vänster en VKR- pelare och till höger en IPE-balk

Revit har en inbyggd prioriteringsrang för att kunna göra ”smarta” kopplingar mellan objekten. Det betyder att en pelare har högre prioritet jämfört med en balk. Ett mötte mellan en pelare och balk i programmet är första alternativet att pelaren skall gå igenom balken(balken hängs in mellan pelarna)som figur 14 visar. Eftersom stålstommens tak består av IPE-balkar är det lämpligare att utforma kopplingen så att balken vilar på pelaren. (Holmqvist, d’Elia 2009)



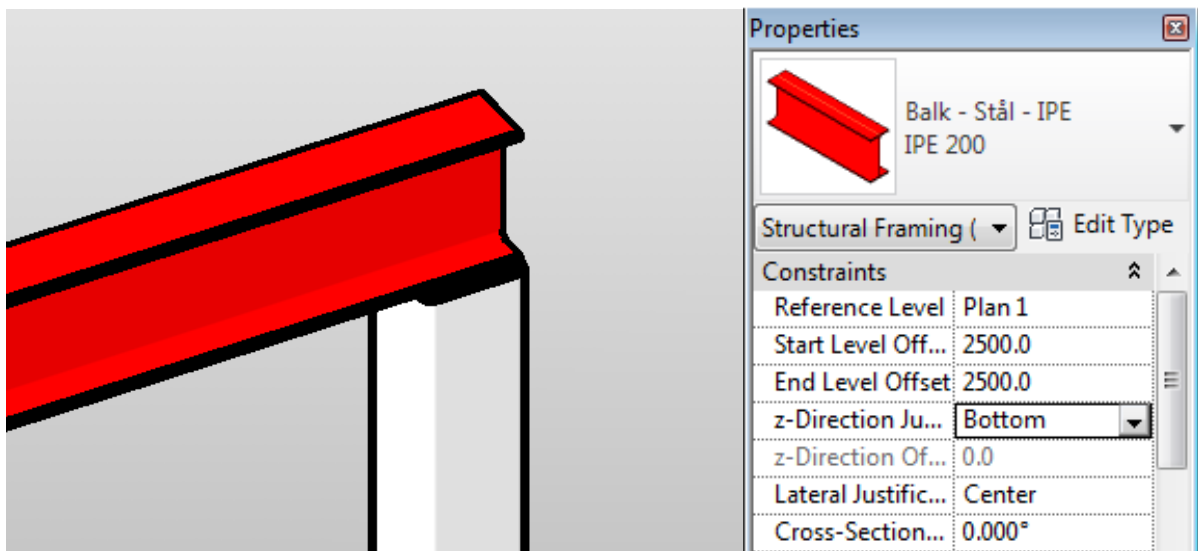
Figur14. Balk ”inhängd” mellan två pelare.

Som vi kan se i bilden ovan placerades balken mellan pelaren trots att balken ritades till mitten av pelaren. Figuren visar också en blå punkt markerad centrisk i pelaren som är knutpunkten för balken. Pelarens knutpunkt är centrisk pelaren. När dessa möts får det ett förhållande till varandra och kommer följas åt vid förändring av modellen. Skulle vi dra balkens orange punkt till kanten på pelaren så kommer balkens analytiska linjer fortfarande att mötas men rittekniskt blir det en svagare bindning. (Holmqvist, d'Elia, 2009)



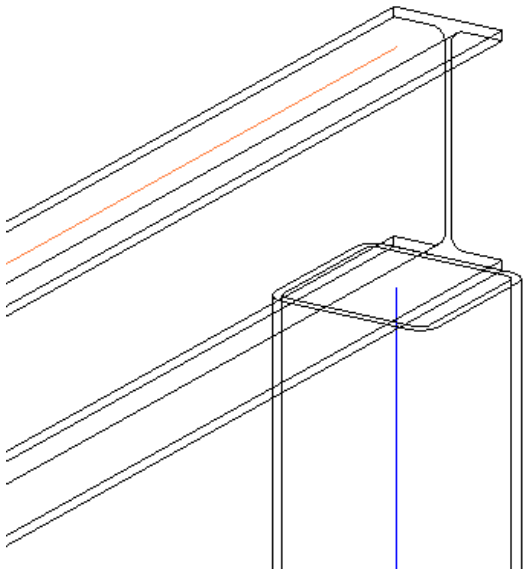
Figur 15. Pelarens och balkens analytiska linje som möts med varandra vid "inhängd" balk

I stålstommen är takbalkarna utformade så att de inte ska "hänga" på pelarna utan att den ska vila på pelarna. Detta görs genom att markera balken och gå in i fliken *Properties*. I rullgardinsfliken som heter *z-Direction Justification*, som beskriver vilken del av balken som placeras i referensnivå, väljs *Bottom* istället för *Top*. Resultatet blir följande:



Figur 16. Balken vilar på pelaren

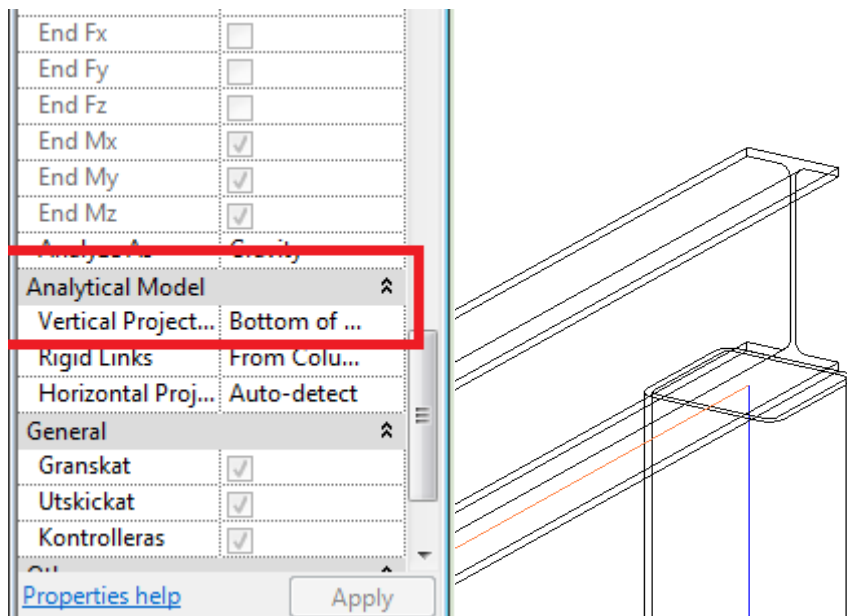
Balken ligger på pelaren precis som vi ville att den skulle göra. Men problemet som uppstår är att de analytiska linjerna inte träffar varandra som man kan se i bilden nedan.



Figur 17. Problem som uppstår när ett element förändras i strukturen.

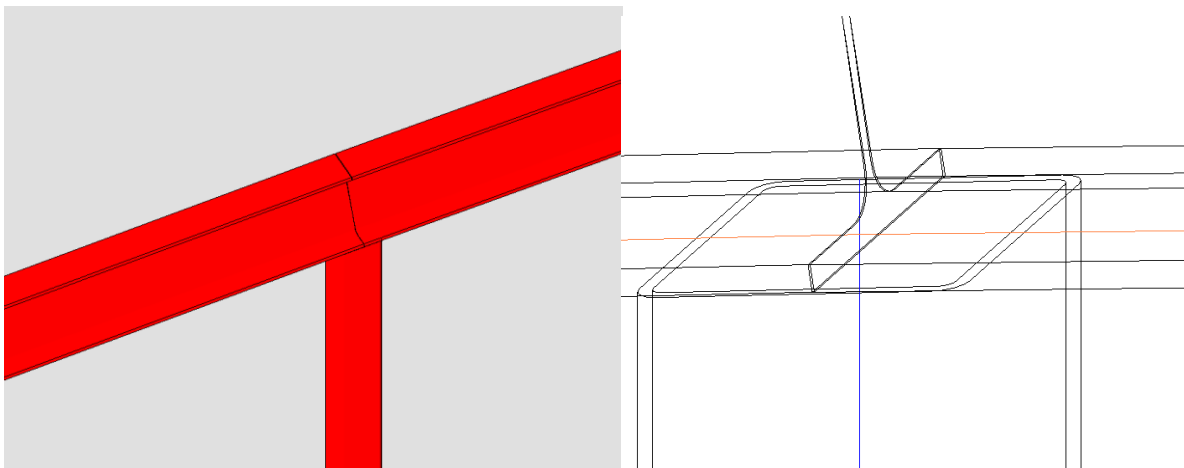
För att få en fungerande analytisk modell måste objektens analytiska representationer vara kopplade till varandra. Att två objekt är kopplade till varandra i den fysiska modellen behöver inte nödvändigtvis betyda att de analytiska linjerna är. Detta visas i figur 17, där balkens och pelarens analytiska linjer inte är kontinuerliga. Med andra ord behöver inte en korrekt strukturell utformning av en byggnad betyda att det är en bra beräkningsmodell.

För att åtgärda problemet ändras den vertikala projektionens läge. Detta kan uträttas genom att gå in på balkens inställningar och välja *Bottom of Beam i Vertical Projection*.



Figur 18. Som vi kan se i bilden till höger så möts nu de analytiska linjerna.

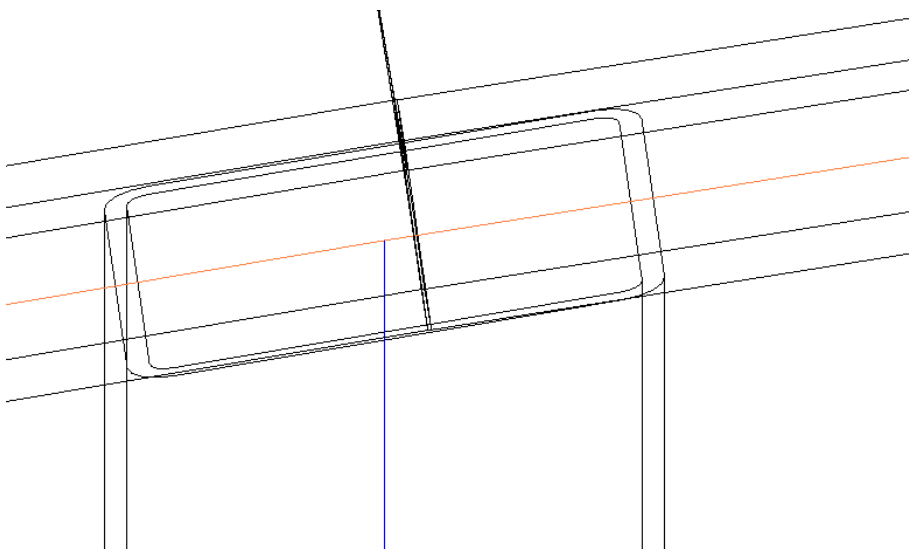
I Stålstommen består taket av lutande IPE-balkar som vilar på pelarna. I Revit Structure måste den lutande detaljen där pelare och balk möts redigeras. Detta görs genom att lyfta upp pelaren och sedan skära den så den anpassas till balkens lutning. Verktöget som gör detta heter *Opening By Face* och finns under *Home* fliken.



Figur19. Koppling mellan balkar och pelare. Till vänster den strukturella vyn och till höger den analytiska vyn.

Bilden till höger i figur 19 visar att pelarens analytiska linje, dvs. den blå linjen sticker upp. Det finns två alternativ som kan åtgärda detta problem:

1. Använda Revitverktyget som heter ”Analytical Adjust” som finns under fliken ”Analyze”. Tillvägagångssättet är följande:
 - Klicka ”Analytical Adjust”
 - Håll pekaren över den blå linjen och tryck TAB en gång och klicka på den fyllda cirkeln högst upp.
 - Klicka sedan balkens linje, dvs. den linje som pelarens linje ska träffa.
2. När modellen är överförd till FEM- Design kan man använda *Trim* verktyget.



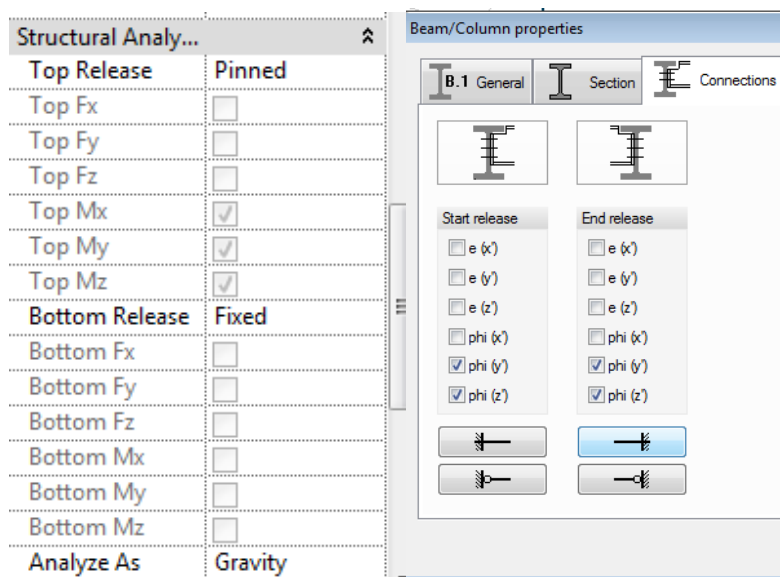
Figur 20. Bilden visar hur den blå linjen har sammanfallit med balkens orange.

Förutom att de analytiska linjerna skall vara kontinuerliga skall bindningarna mellan dessa vara korrekta. I kapitel två beskrevs hur de olika elementens verkningsätt och deras frihetsgrader. I ett balkelement, som i praktiken både kan vara en balk och pelare, finns 6 frihetsgrader. Av dessa 6 frihetsgrader är 3 förskjutningar och resterande är rotationsfrihetsgrader. Beroende på om du vill ha en ledad eller momentstyv koppling mellan elementen skall vissa frihetsgrader låsas.

I Revit går det att ställa in på vilket sätt balkelementen är kopplade, detta görs genom att föreskriva vilka krafter och moment som inte skall överföras till balkens noder. Detta görs genom att markera varje enskilt balk- eller pelarobjekt, gå in på dess inställningar och ändra start- och slutkoppling under funktionen *Releases*.

I Stålstommen är det på vissa ställen önskvärt med pelare som är fast inspänd i foten och ledad i toppen. Detta görs genom att välja *Fixed* i foten och *Pinned* i toppen. I figur 21 nedan illustreras detta.

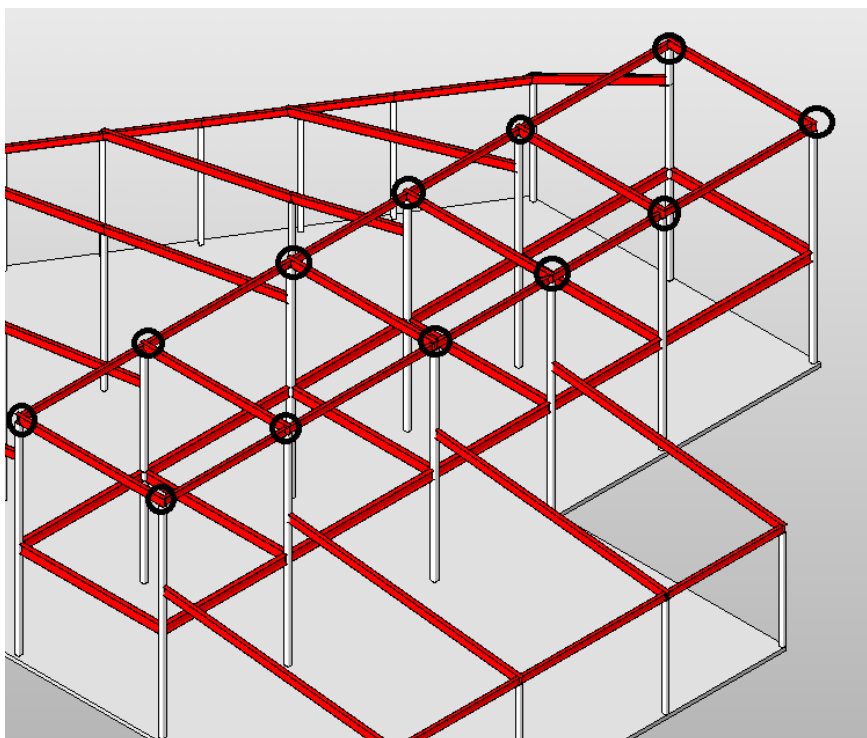
I FEM-Design, programmet som modellen ska exporteras till, beskrivs kopplingen mellan element och de frihetsgrader i noden som är fria att röra på sig.



Figur 21. Bild till vänster: Kopplingen i pelarens båda ändar dvs. ledad uppe och fast inspänd nere i Revit. Till höger: Ledade kopplingar i en balk i båda ändarna i FEM-Design.

4.1.3 Stomstabilisering

Byggnaden består av en stålstomme och det naturliga är då att stabilisera med fackverk. Pelare betraktas ofta som ”pendelpelare”, de kan antas vara ledade i både fot och topp. Men ur infästningssynpunkt så är det mer praktiskt att ha pelaren fast inspänt vid fot (Isaksson et al. 2010). Man brukar säga att pelaren måste stå för sig själv. Alla pelare utom de som finns i det höga mittenpartiet i byggnaden skall vara fast inspända i foten och ledade upptill. I de övre hörnen på mittenpartiet har man valt att stabilisera med momenstyva hörn då vindkrysset inte är önskvärt av arkitektoniska skäl.



Figur 22. Ringarna visar de momentstyva hörnen

Stabilisering av skelettstommar av stål görs ofta med vindkryss och är stångelement. En brist i Revit Structure är att det inte finns familjer med stänger, utan i programmet anses stängerna vara balkelement. Man kan fortfarande rita en sned stång, men man får välja element från balkfamiljen. Risken är att när modellen exporteras till FEM-Design kommer den att uppfattas som ett balkelement.

4.2 Export av den analytiska modellen

För att BIM modellen skall vara beräkningsbar i FEM-Design skall följande parametrar vara kompatibla:

- Material
- Tvärsnittet
- Kopplingar
- Knäcklängder

4.2.1 IFC- vyer

Vid överföringar av beräkningsmodeller från en programvara till en annan krävs IFC- vyn *Structural Analysis View*. Vyn stöds inte av de marknadsledande BIM- verktygen som i vårt fall är Revit. Istället är programmen endast certifierat för IFC 2x3 Coordination View, som varken innehåller analytiska linjer eller hur dessa är anslutna till varandra. Dessa kan endast användas vid samordning i ett projekt där flera aktörer i branschen är delaktiga. (Argerus, Hasselberg 2011)

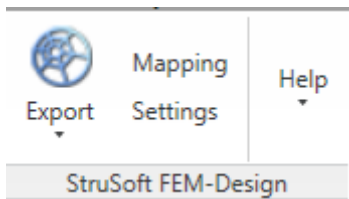
FEM-Design har stöd för import av IFC 2x3 Structural Analysis View såväl som IFC 2x3 Coordination View. För att kunna exportera beräkningsmodeller från Revit Structure till FEM-Design har Strusoft utvecklat ett programtillägg som gör det möjligt att exportera beräkningsmodeller direkt. Programtillägget heter *Revit to FEM-Design*. (Argerus, Hasselberg 2011) Programtillägget *Revit to FEM-Design* stödjer för tillfället inte återföring av modellen

till Revit Structure. Enligt korrespondens med Joakim Lindberg på Strusoft ”... är en ny version av tillägget under utveckling där export/importen ska gå åt båda riktningarna.” Strusoft planerar att släppa programmet första halvåret 2012.

Visionen med programtillägget ”är att kopplingen skall klara våra användares önskemål på ett smidigt sätt i båda riktningar och klara återkommande överföring (s.k. round trip) skriver Håkan Hansson, vice VD på Strusoft, i ett mail.

4.2.2 Revit to FEM-Design

För att göra överföringen av beräkningsmodellen från Revit Structure till FEM-Design måste programtillägget, som skapats av Strusoft, vara installerad på datorn. Programmet uppträder då som ett verktyg i Revit Structure som bilden nedan visar.



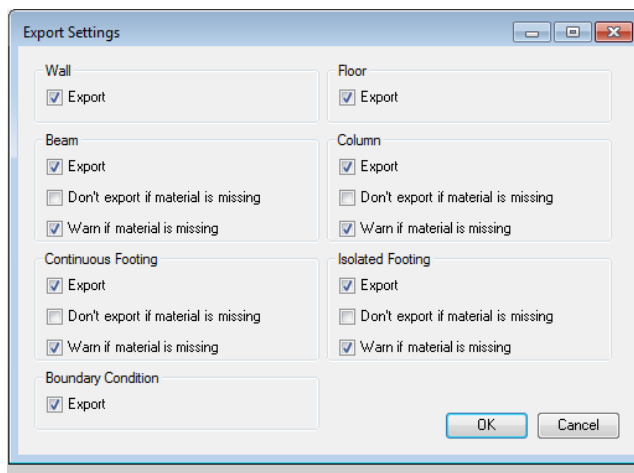
Figur 23. Strusofts programtillägg till Revit Structure.

Efter installationen hamnar programmet under fliken *Analyze*. Förutom att man skall ha programtillägget *Revit to FEM-Design* skall även tre viktiga punkter kontrolleras innan modellen exporteras.

- Den analytiska modellen ska vara kontinuerlig. Även om den inte är det så kan den överföras som i sin tur kan försvåra beräkningsprocessen i FEM-Design. Detta kan göras genom att gå in på *Analyze* och sedan *Consistency Check*.
- Exportinställningar
- Översättning av material och tvärsnittsprofiler.

4.2.3 Exportinställningar

Innan beräkningsmodellen överförs från Revit skall vissa inställningar först göras i programtillägget. Detta görs genom att klicka på settings och följande ruta kommer fram.



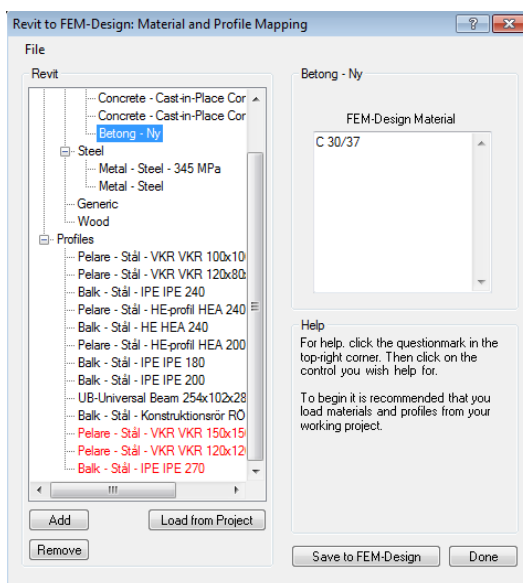
Figur 24. Exportdialogen med korrekta inställningar för export.

Som bilden ovan visar så finns det antingen ett eller tre alternativ för varje byggnadsdel.

- ”Export”- Om ”Export” är ibockad överförs samtliga element av den specifika byggnadsdelen.
- ”Don’t export if material is missing”- Byggnadsdelen exporteras inte om inte den inte har ett giltigt material.
- ”Warn if material is missing”- Varningsmeddelande kommer fram om byggnadsdelen saknar giltigt material.

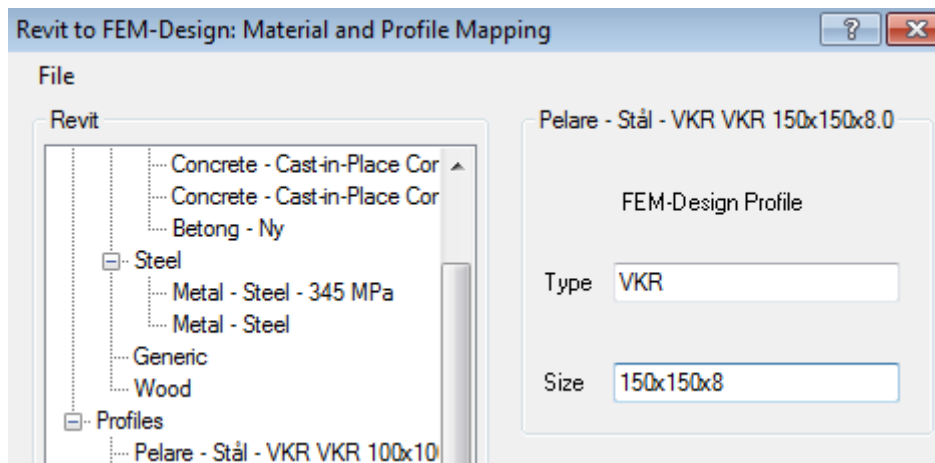
4.2.4 Översättning

Nästa steg i överföringsprocessen är att översätta material- och tvärsnittsparametrar från Revit till 3D-Structure. Detta görs genom att starta *Mapping* verktyget och följande dialogruta kommer fram:



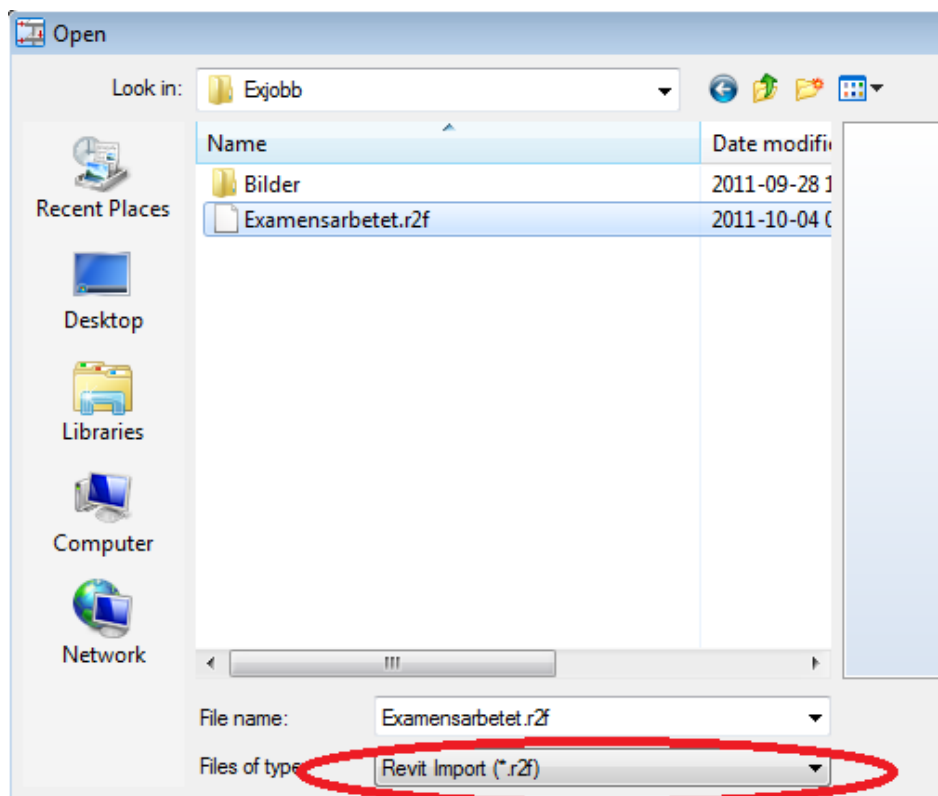
Figur 25. Översättningsdialogen Mapping

När dialogen öppnas laddas automatiskt material- och tvärsnittsdata från förgående projekt. För att uppdatera listan skall man klicka på *Load from Project*. De nya objekten som inte har översatts till FEM-Design är markerade med rött. Nu återstår det bara att översätta material. Det görs genom klicka på materialet som är markerad med en röd färg och skriva in koden för motsvarande material i FEM-Design. Mappingprocessen är inte så tidskrävande som man kan tro, när man väl har översatt ett material eller tvärsnitt så finns data kvar till nästkommande projekt.



Figur 26. Exempel på en översättning

När detta är gjort för samtliga rödmarkerade material klickar man på *Save to FEM- Design* och sedan *Done*. När modellen sedan skall exporteras har man två alternativ. Den ena är att öppna FEM-Design direkt och det andra är att spara filen. När filen är exporterad, sparad skall den öppnas i FEM-Design. För att kunna öppna filen ska man välja formatet *.r2f som figur 27 nedan visar.

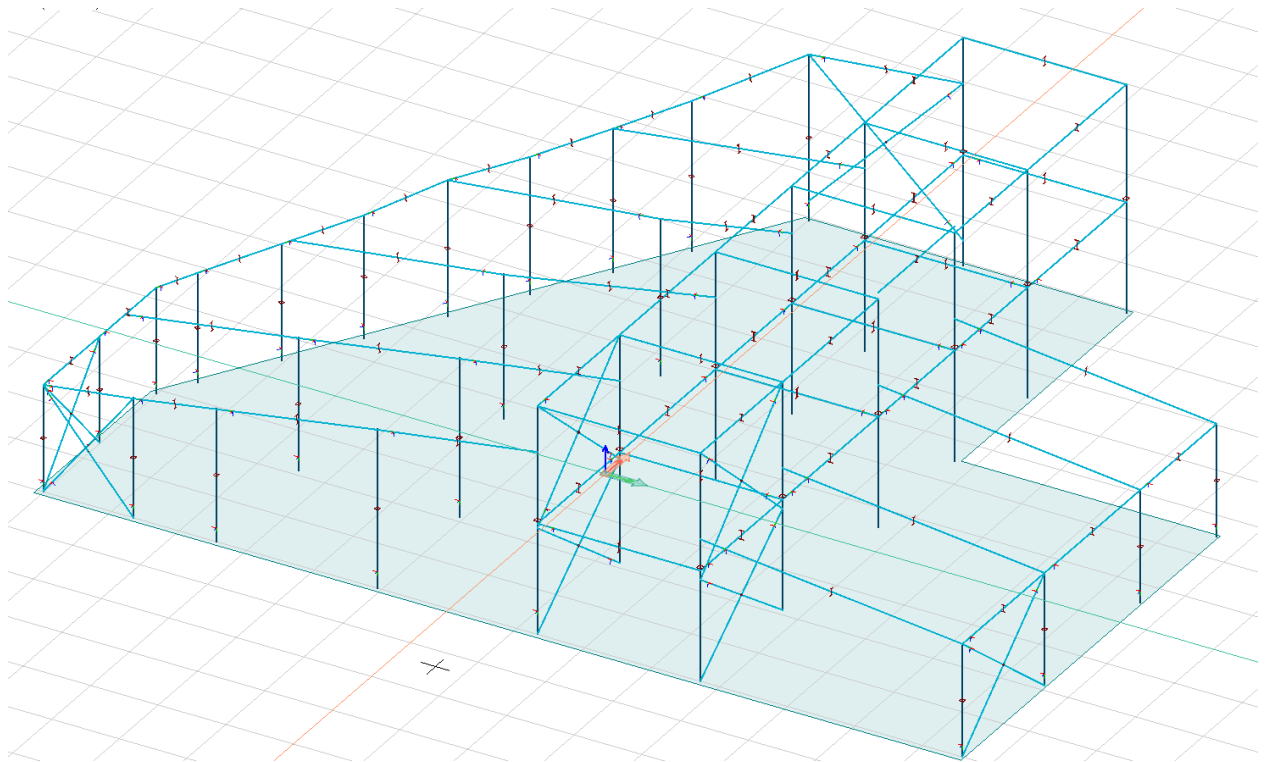


Figur 27. Spara filen i r2f-format.

5. Utvärdering

I följande kapitel undersöks exporten från Revit till 3D-Structure, beräkningar och resultat i 3D-Structure samt en utvärdering av båda programmen.

5.1 Export från Revit Structure till 3D-Structure



Figur 28. En exporterad beräkningsmodell i FEM-Design

För att den exporterade modellen skall vara beräkningsbar måste den uppfylla kompatibiliteten, dvs. att material, tvärsnitt, kopplingar och knäcklängder skall överensstämma med de som man angett i ritprogrammet Revit Structure.

5.1.1 Material & Tvärsnitt

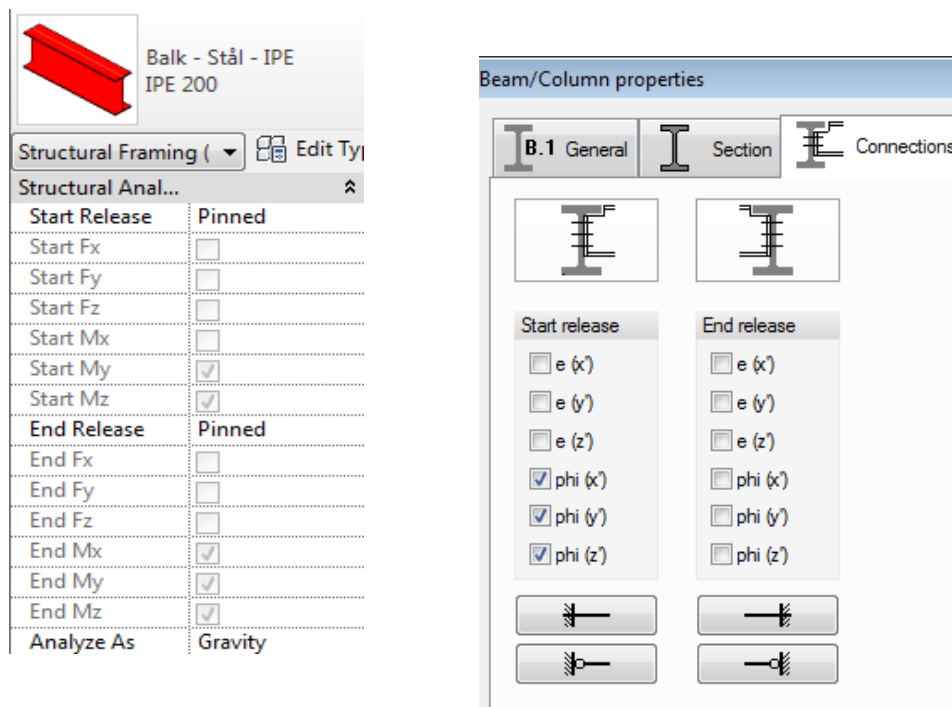
Material- och tvärsnittsegenskaperna stämde överens med dem som angavs i Revit Structure.

5.1.2 Kopplingar

Två problem uppstod med randvillkoren i samband med överföringen av beräkningsmodellen:

- Problem 1: Randvillkoren i pelaren blev upp- och nervända i FEM-Design. Det vill säga att pelaren blir ledad i foten och fast inspänd i knutpunkten.
- Problem 2: Randvillkoren i balkarna som vi angett i Revit stämmer inte överens med dem som redovisas i FEM-Design.

Dessa problem uppstod vid överföringen i versionen 1.2.005 av programmet *Revit to FEM-Design*. Figuren nedan visar inställningarna av randvillkor i Revit Structure till vänster respektive 3D-Structure till höger.



Figur 29. Inställningar i Revit Structure och FEM-Design

För att hitta problemet skickades filen till mjukvaruingenjören Joakim Lindberg på Strusoft. Efter att ha undersökt problemet visade det sig att det fanns en ”bugg” som gjorde att balkens ”End Releases” skrev över värden i ”Start Releases” för balkar. Samma problem kunde man finna med pelarens kopplingar. I version 1.2.007 av exportprogrammet är problemen åtgärdade. Överföringen av elementens kopplingar är nu korrekta.

5.1.3 Knäcklängder

Vid dimensionering av pelare bestämmer konstruktören själv vilken knäcklängd som pelaren skall ha. Knäcklängderna på pelarna är inte relaterade till kopplingarna mellan elementen i FEM-Design, utan att dessa är alltid förinställda så att pelaren är ledad i båda ändarna ($\beta=1.0$).

5.1.4 Övrigt

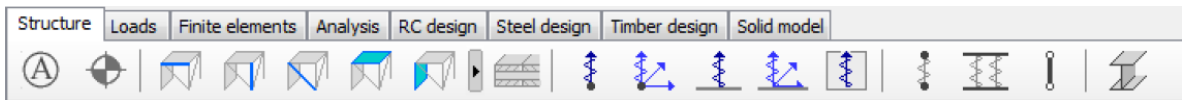
Förmodan om att stängerna skulle uppfattas som balkar i FEM-Design stämde. Detta betyder att konstruktören själv måste rita in stängerna efter exporteringen i sin beräkningsmodell i FEM-Design. I figur 25 bevisas detta genom att stagen har fått samma analytiska färg som balkarna.

I 3D-Structure upptäcktes också att ID-numren som tilldelades elementen i Revit Structure följde med till 3D-Structure.

5.2 Beräkningar och resultat i 3D-Structure

När beräkningsmodellen är klar och exporterad skall analyser göras. Till analyserna används 3-D Structure. Under arbetet med att analysera modellen i FEM-Design 9.0 uppdaterades den till version 10.0. Därför redovisas beräkningar nedan med version 10.0. I nedanstående stycke redovisas laster och resultat. Mer ingående beräkningar och tabeller finns i bilaga A som finns i slutet av rapporten.

I 3D-Structure arbetar man i regel med gränssnittet från vänster till höger. D.v.s. ritat upp analysmodellen eller importerar den från ett externt BIM- verktyg. Efter det införs laster, analyser utförs och dimensionerar med en av designflikarna, beroende på vilket material som används.

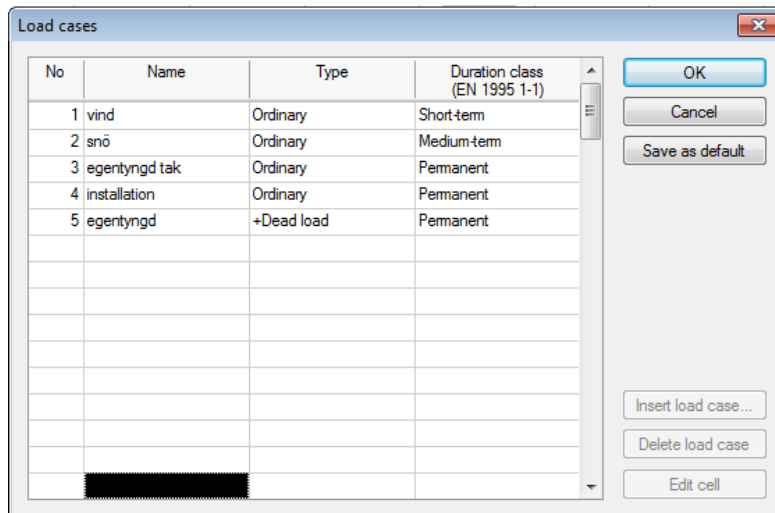


Figur 30. Användargränssnitt 3D Structure

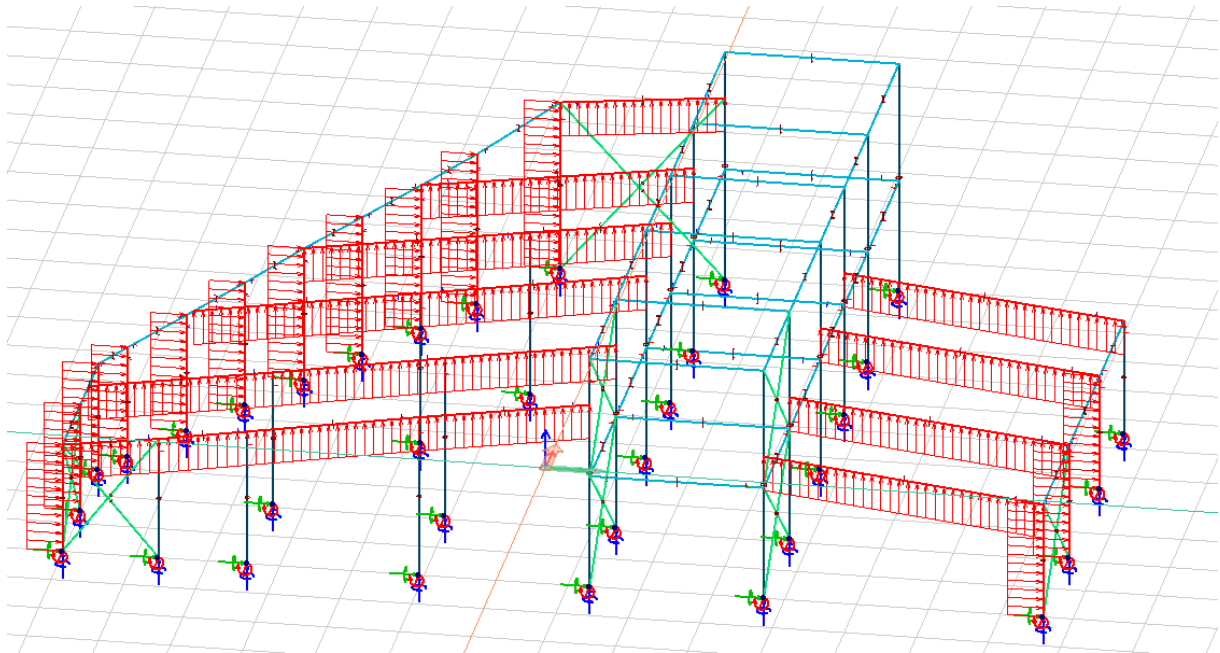
Vid införandet av laster och lastkombinationer i 3D-Structure används verktygen som finns under fliken *loads*. För laster används verktyget *loads* och för lastkombinationer används verktyget *loadcombinations*.

5.2.1 Laster

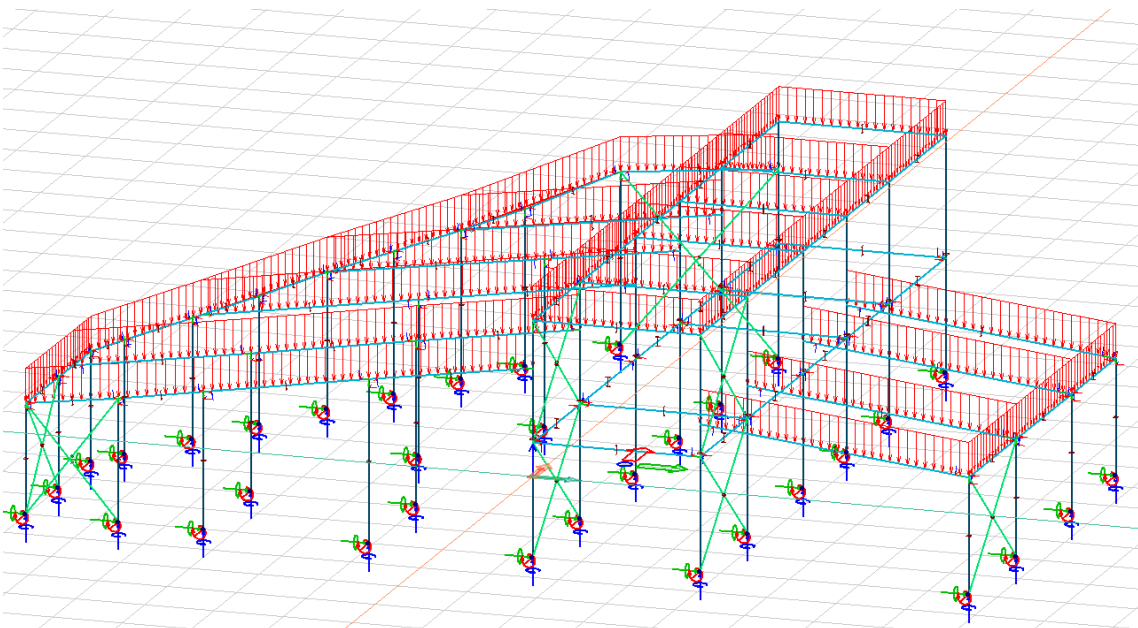
Vertikallaster är i form av snölaster och horisontella laster är i form vindlaster och tas fram i EN (Europannormen). Geografiskt kan man anta att byggnaden befinner sig någonstans i Skåne nära en kust. Dessutom tillkommer egentingslaster från taket och installationer.



Figur 31. Lastfall i 3D-Structure



Figur 32. Vindlaster som uppstår i byggnaden redovisas i 3D-modellen.



Figur 33. Laster p.g.a. snö och egentyngder.

5.2.2 Lastkombinationer

För att en byggnad ska uppfylla kraven för stabilitet skall både byggnaden dimensioneras både av horisontella krafter (vindlaster) och vertikala krafter (snölaster). Vid stabilisering används dimensionerande lastkombination *EQU*.

Vid dimensionering i brottgränstillstånd används dimensionerande lastkombination *STR B*, dvs. lastkombinationerna 6.10b och i bruksgränstillstånd används ekv. 6.14b (Isaksson et al., 2010)

No	Name	Type	Factor	Included load cases
1	EQU	U	1.500	vind (Ordinary)
			1.100	egentyngd tak (Ordinary)
			1.100	installation (Ordinary)
			0.900	snö (Ordinary)
			1.100	egentyngd (+Dead load)
2	6.10b vind	U	1.500	vind (Ordinary)
			1.200	egentyngd tak (Ordinary)
			1.200	installation (Ordinary)
			0.900	snö (Ordinary)
			1.200	egentyngd (+Dead load)
3	6.10b snö	U	1.500	snö (Ordinary)
			1.200	installation (Ordinary)
			1.200	egentyngd tak (Ordinary)
			0.450	vind (Ordinary)
			1.200	egentyngd (+Dead load)
4	6.14b vind	S	1.000	vind (Ordinary)
			1.000	egentyngd tak (Ordinary)

Figur 34. Lastkombinationer där U står för brottgränstillstånd och S står för bruksgränstillstånd.

6. Slutsatser & Diskussion

I följande kapitel diskuteras Revit som projekteringsverktyg. Dessutom diskuteras möjligheterna och bristerna med att exportera analysmodeller från Revit Structure till 3D-Structure.

6.1 Revit som BIM- verktyg

Revit Structure upplevs som ett enkelt gränssnitt att lära sig och är dessutom användarvänligt. Då det bara rör sig om ett referensobjekt kan vi inte anta att programmet behandlats fullt ut. För att projektera skelettstommar i stål föredras Tekla Structure, som är mer anpassad till stålkonstruktioner, enligt projektörerna Markus Olsson och Johan Svensson som jobbar på COWI i Kristianstad som har erfarenhet från båda programmen.

När man börjar projektera en byggnad i Revit Structure skall man inte gå in med inställningen att projektera en hel byggnad i 3D, då det är nästintill omöjligt och är dessutom tidskrävande. Kompletteringar av detaljer görs istället i 2D. Antingen i ett externt 2D-CAD program eller inne i Revit.

Under uppritandet av modellen upptäcktes att det inte fanns stag i Revits svenska familjebibliotek. När stag skall användas i modellen hämtas de från balk- familjen. När modellen sedan exporterades från Revit Structure till FEM-Design uppfattades stagen som balkar. Detta ställer till med problem i beräkningsmodellen i FEM-Design. Detta då balkar och stag har två olika strukturmekaniska verkningssätt. Detta är ett problem som Autodesk bär ansvaret för.

I Revit Structurepaketet ingår en tilläggsapplikation för användning av förband vid anslutningar mellan stålobjekt. Men dessa fungerade endast när balken var ”inhängd” i pelaren. Därför hade vi inte användning av tilläggsapplikationen i referensobjektet.

Hur BIM- verktyget och FEM- verktyget väljer att ange randvillkoren för elementen upplevs förvirrande. I 3D-Structure bockade man i vilka frihetsgrader som var fria att röra på sig och i Revit Structure angavs vilka krafter och moment som skall föreskrivas. Båda inställningsmetoderna innebär samma sak men har olika sätt för att beskriva randvillkoren.

6.2 Export mellan Revit Structure och FEM- design

Tidigt i examensarbetet konstaterades att den exporterade modellen inte kunde återföras tillbaka till Revit Structure. Istället lades fokus på envägslänken mellan programmen. Enligt Strusoft är en ny version av programtillägget på gång och förväntas komma ut någon gång under 2012. Stora utmaningar väntar programutvecklarna på Strusoft för att få en tvåvägslänk mellan programmen.

- Stag uppfattas som balk i Revit.
- Att den förändrade geometrin förändras på ett korrekt sätt. Exempelvis att en balk växer inåt istället för utåt.

Efter att utvärderingen av exporten från Revit Structure till FEM-Design är gjord har författarna kommit fram till att programtillägget *Revit to FEM-Design* i sin nuvarande form inte bör användas. Anledningarna är följande:

- ”Buggen” som innebar att randvillkoren i FEM-design inte stämde överens med de som angavs i Revit Structure innebar att programtillägget förlorade trovärdighet. Problemet var inte tidigare känt för utvecklarna på Strusoft. Enligt författarna så hade

”buggen” kunnat resultera i att byggnaden konstruerats fel och konsekvenserna kunde blivit omfattande.

- I Revit Structure finns inte familjer med stänger utan man får använda sig av balkelement för att rita stagen. Detta innebär att modellen som ska exporteras är inte komplett.

Eftersom problemen åtgärdades kan den som vill, trots komplikationerna, använda sig av programtillägget. Författarna vill dock påpeka att:

- Arbeta med den analytiska modellen i Revit Structure är i sig ganska tidskrävande. Analyslinjerna måste vara kontinuerliga och kopplingarna skall införas manuellt. Efter export måste modellen dessutom granskas på nytt i FEM-Design.
- Version 10.0 i FEM-Design har förbättrats rittekniskt. Tiden som går åt för att justera den analytiska modellen från Revit kan lika gärna användas till att bygga upp modellen i FEM-Design. Tidsvinsten beror på projektets omfattning, men skribenterna anser att den i de flesta fall är såpass liten att man istället bör rita modellen i FEM-Design.

6.3 Avgränsningens inverkan på slutsatsen

Referensobjektet bestod av en stålstomme av VKR- pelare och IPE-balkar. Övriga byggsystem har inte behandlats i denna rapport. Ovanstående slutsatser är därför inte endast baserade på exporten av referensobjektet. Att exporten av andra stomsystem inte har analyserats har helt klart påverkat slutsatsen i detta examensarbete. Anledningen är att elementen som används i andra stomsystem skiljer sig från de som använts i examensarbetet. Det kan då uppstå andra fel vid exporten som Strusofts programmerare har förbiset.

6.4 Förslag och rekommendationer till branschen

Byggbranschen och projekteringsprocessen har förändras på ett betydande sätt nu när BIM tillämpas i byggprojekteringen på bred front. Det gäller att hänga med i svängarna och skapa den kompetens som behövs för att driva igenom projektering i BIM, som allt fler beställare förväntar sig. Först och främst krävs utbildning kring samordningen, en viktig del i BIM-projekteringen är att kunna samordna arbetet. Samordningen är såpass viktig att företag söker personal som endast ska jobba med BIM- samordning. Vidare skall personalen utbildas i de BIM- verktyg som företaget anser passa deras profilering. Man skall inte se BIM som en börda utan som ett effektivt projekteringsverktyg.

Vill man arbeta med exporterade analysmodeller från ett BIM- verktyg, trots författarnas råd, bör man också använda 3D- beräkningsverktyg som 3D-Structure för att kunna utnyttja Revitmodellen fullt ut.

6.5 Förslag till framtida examensarbete

Eftersom BIM och filhanteringen mellan BIM- verktygen är ett relativt nytt och utforskat område finns det många frågor som byggbranschen vill ha svar på.

Som vi tidigare har nämnt i examensarbetet kommer det första halvåret 2012 en ny version av programtillägget *Revit to FEM-Design* som gör det möjligt att återföra modellen tillbaka. Ett förslag är att undersöka kopplingen när den nya versionen kommer ut.

I examensarbetet undersöktes ett stomsystem bestående av pelare och balkar. Ett förslag är att undersöka kopplingen mellan programmen med ett annat stomsystem. Det kan finnas andra problem som inte kunde påvisas i detta examensarbete.

Undersökning av kopplingen mellan andra programvaror kan vara ett annat exempel på ett examensarbete. Ett exempel är Revit→Tekla.

7. Källförteckning

7.1 Litteratur

Austrell, P-E., Dahlblom O., Lindemann J., Olsson, A, Olsson, K-G., Persson, K, Pettersson H., Ristanmaa M, Sandberg G., Wernberg P-A. (2004) Calfem – a finite element toolbox. LTH: Lund

Autodesk (2009) Autodesk officiella kursmaterial- Revit Structure 2010
San Rafael: Autodesk Inc.

Eastman, C., Sacks, R. & Liston, K. (2008) BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons.

Holmqvist Caroline, d'Elia Stefano.(2009) Revit Structure 2010, Grundkurs
Göteborg: WITU AB

Isaksson. T, Mårtensson. A & Thelandersson, S. (2010) Byggkonstruktion
Malmö: Holmbergs i Malmö AB

Ottosen Niels & Petersson Hans. (1992) Introduction to finite element method
Essex: Prentice Hall

7.2 Elektroniska dokument

American Institute of Architects. (2011) Infosida tillgänglig på:
<http://www.aia.org/index.htm> [hämtad 2011-09-20]

Associated General Contractors. (2011) Infosida tillgängligt på:
http://www.agc.org/cs/industry_topics/technology/building_information_modeling
[hämtad 2011-09-20]

Argerus, J & Hasselberg, P. (2011) Examensarbete vid LTH tillgänglig på:
<http://www.byggmek.lth.se/fileadmin/byggnadsmekanik/publications/tvsm5000/web5177.pdf>
[hämtad 2011-07-28]

Autodesk, (2011) Users Guide tillgänglig på:
http://images.autodesk.com/adsk/files/rac_help.pdf [hämtad 2011-07-28]

BuildningSMART. (2011) Infosida tillgänglig på:
<http://buildingsmart.com/standards/ifc/model-industry-foundation-classes-ifc/?searchterm=IFC>
[hämtad 2011-07-07]

Byggindustrin (2010) tidningsartikel tillgänglig på:
http://www.byggindustrin.com/teknik/it-samarbete-ska-ge-bättre-och-billigare__6565
[hämtad 2011-08-21]

Byggindustrin (2008) tidningsartikel tillgänglig på:
http://www.byggindustrin.com/teknik/brist-pa-samordning-hotar-bim__4786
[hämtad 2011-08-28]

Dursun, J. (2010) Examensarbete ”BIM- projektering med Autodesk Revit” tillgänglig på:
<http://epubl.ltu.se/1402-1617/2010/124/LTU-EX-10124-SE.pdf> [hämtad 2011-10-09]

IFC, (2011) Infosida tillgänglig på:
http://www.ifcwiki.org/index.php/Main_Page [hämtad 2011-07-13]

Jongeling, R. (2008) Vetenskaplig rapport ” BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt”
tillgänglig på:
<http://epubl.ltu.se/1402-1528/2008/04/LTU-FR-0804-SE.pdf> [hämtad 2011-05-28]

Strusoft. (2011) Infobland tillgängligt på:
http://www.strusoft.com/images/stories/fem-pdf/fem-design_brochure.pdf
[hämtad 2011-11-10]

A. Beräkningar

A1. Laster

Vindlaster:

Referensvindhastigheten $v_b=25$ m/s

Terrängtyp 0

→ Karaktäristiskt vindtryck, $q_k = 1.04$ kN/m²

$C_{pe,lo}=0.7$

$C_{pe,lä}=0.3$

$C_{pe,sug1}=0.8$

$C_{pe,sug2}=0.6$

Lasterna görs om till linjelaster

$w_e=q_k * C_{pe}$

Snölaster:

$s_k = 1.5$ kN/m²

$C_e = 0.8$

$C_t = 1.0$

$\mu_1 = 0.8$

$s = \mu_1 C_e C_t s_k = 1.5 * 0.8 * 0.8 * 1.0 = 0.96$ kN/m²

Utöver den allmänna snölasten uppstår också lokala laster där snön samlas. Dessa laster uppstår i så kallade snöfickor. Dessa snöfickor uppstår i tak med flera nivåer, som vi har i vårt fall. I Stålstommen finns 3 olika snöfickor och dessa kallas för Snöficka 1, Snöficka 2 och Snöficka 3.

$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$

$\mu_s =$ Snöras från det högre liggande taket

$\mu_w =$ Snölaster pga. vind

$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma h}{s_k}$

$\gamma = 2$ kN/m²

Snöfickor:

Snöficka 1 finns i hörnet mellan det västra taket och det högre taket.

$\mu_s = 0$

$\mu_w = \frac{4942 + 14388}{2 \times 1500} = 6.44 \leq \frac{2 * 1.5}{1.5} = 2$

$\mu_w = 2 = \mu_2$

$l_s = 2h = 2 \times 1.5 = 3$ m

Rekommenderade gränser enl. den nationella bilagan är $5 \leq l_s \leq 15$ m

→ $l_s = 5$ m

Snöficka 2 finns i hörnet mellan det östra taket och det högre taket.

$\mu_s = 0$

$$\mu_w = \frac{4942 + 7740}{2 \times 2560} = 2.47 \leq \frac{2 * 2.560}{1.5} = 5.12$$

$$\mu_w = 2.47 = \mu_2$$

$$l_s = 2h = 2 \times 2.560 = 5.12m$$

Egentyngd tak:

Egentyngd av taket innebär takbeklädningen som tas upp av takbalkarna.
 $q_{\text{tak}} = 0.30 \text{ kN/m}^2$

Egentyngd installationer:

Egentyngd av installationer innebär undertak, kablar, ventilationskablar mm.
 $q_{\text{inst}} = 0.25 \text{ kN/m}^2$

Lastkombinationer:

EQU:

$$\gamma_d 1,1(G_{kj, \text{sup}} \text{ eller } G_{kj, \text{inf}}) + \gamma_d 1.5Q_{k,1} + \gamma_d 1.5g_{\text{aff}} \text{ eller } 1.5Q_{k,i}$$

Vindlast som huvudlast:

$$Q_{k,1} = \text{vindlast}$$

$$Q_{k,i} = \text{snölast, } e g_{\text{inst}}, e g_{\text{tak}}$$

$$\psi = 0.6$$

Snölast som huvudlast:

$$Q_{k,1} = \text{Snölast}$$

$$Q_{k,i} = \text{vindlast, } e g_{\text{inst}}, e g_{\text{tak}}$$

$$\psi = 0.3$$

A2. Resultat

Dimensionering enligt vind från väst

Stabilitetskontroll

För att kunna dimensionera vindstag och kunna få fram upplagskrafter som skall användas för att dimensionera kopplingar till grunden behövs stabilitetsberäkningar. Vid stabilitetsberäkningar används lastkombinationen EQU (equilibrium).

Utöver vindlaster som uppstår skall hänsyn även tas till snedställning hos pelarna.

Snedställning hos pelarna innebär i praktiken att det uppkommer en extra horisontell punktlast på toppen av pelaren. Detta inträffar eftersom pelare inte är till 100 % raka utan lutar åt något håll. FEM- Design tar automatiskt hänsyn till detta.

Tabell A1. Utnyttjandegraden hos stagen pga. EQU

Member	Section	Status	Maximum	RCS	FB	TFB	LTB
[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
T.1.1	KKR 80x80x4	Real	3	1	3	1	-
T.2.1	KKR 80x80x4	Real	1	1	-	-	-
T.3.1	KKR 80x80x4	Real	1	1	-	-	-
T.4.1	KKR 80x80x4	Real	3	1	3	1	-
T.5.1	KKR 80x80x4	Real	0	0	-	-	-
T.6.1	KKR 80x80x4	Real	14	1	14	1	-
T.7.1	KKR 80x80x4	Real	4	1	4	1	-
T.8.1	KKR 80x80x4	Real	4	1	4	1	-
T.9.1	KKR 80x80x4	Real	3	1	3	1	-
T.10.1	KKR 80x80x4	Real	3	0	3	0	-
T.11.1	KKR 80x80x4	Real	2	0	2	0	-
T.12.1	KKR 80x80x4	Real	2	0	2	0	-
T.13.1	KKR 80x80x4	Real	4	1	4	1	-
T.14.1	KKR 80x80x4	Real	3	1	3	1	-
T.15.1	KKR 80x80x4	Real	5	1	5	1	-
T.16.1	KKR 80x80x4	Real	5	1	5	1	-

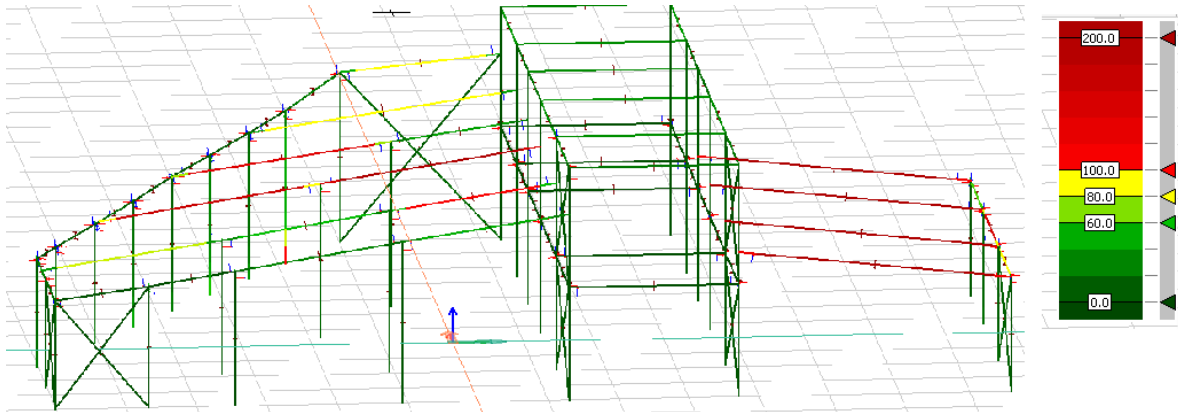
Tabell A1 ovan redovisar utnyttjandegraden hos stagen i ”Stålstommen”. RCS innebär Resistance of crosssection och på svenska översätts detta till bärförmåga för tvärsnittet. FB innebär flexural buckling och kan översättas till knäckning. TFB står för Torsional Flexural Buckling och kan översättas till vridknäckning. Det sista är LTB och står för Lateral Torsional Buckling och översätts till vippning.

Tabell A2. Reaktionskrafterna hos upplagen

No.	Node	F _x '	F _y '	F _z '	M _x '	M _y '	M _z '	Fr	Mr
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kNm]
S.1	1	6.087	1.444	5.447	-0.026	2.910	0.000	8.295	2.910
S.2	13	2.036	0.000	-6.120	0.000	0.027	0.000	6.449	0.027
S.3	19	0.006	0.000	-1.946	0.000	0.022	0.000	1.946	0.022
S.4	31	0.004	0.000	-5.929	0.000	0.017	0.000	5.929	0.017
S.5	34	0.335	0.000	-5.739	0.000	1.569	0.000	5.749	1.569
S.6	40	0.612	-1.752	-18.738	0.012	0.992	0.000	18.829	0.992
S.7	45	2.412	1.673	-32.404	-0.241	6.431	0.010	32.536	6.436
S.8	49	1.536	-0.089	-33.276	0.082	5.589	0.005	33.312	5.589
S.9	3	5.570	1.704	-7.596	-0.029	6.106	0.000	9.573	6.106
S.10	6	5.378	0.011	-5.139	-0.034	9.342	0.000	7.439	9.342
S.11	8	7.101	-0.254	-1.136	0.824	11.274	0.000	7.196	11.304
S.12	21	0.574	0.000	2.618	0.000	2.244	0.000	2.680	2.244
S.13	29	0.472	0.000	-16.365	0.000	2.097	0.000	16.372	2.097
S.14	37	0.325	0.043	-10.358	-0.208	1.555	0.000	10.363	1.569
S.15	15	8.657	-0.716	-3.560	2.611	14.117	0.000	9.388	14.357
S.16	11	6.892	0.659	-5.235	-2.271	6.833	0.000	8.680	7.200
S.17	17	6.995	0.410	-6.534	-1.598	7.315	0.000	9.580	7.487
S.18	23	9.864	-1.303	-3.555	5.303	18.407	0.000	10.566	19.155
S.19	25	10.783	0.255	-11.846	-1.084	11.063	0.000	16.021	11.116
S.20	27	15.584	-2.509	-3.717	11.169	31.177	0.000	16.216	33.117
S.21	35	9.148	0.440	-1.288	-2.168	7.777	0.000	9.248	8.074
S.22	60	4.717	-0.258	-27.325	0.260	0.828	0.219	27.730	0.895
S.23	56	2.258	0.130	-33.708	-0.160	6.870	0.121	33.784	6.873
S.24	52	1.816	-0.014	-25.443	-0.002	5.635	-0.007	25.508	5.635
S.25	65	0.097	-1.582	-20.519	-0.163	0.436	-0.356	20.580	0.586
S.26	69	1.320	1.895	-35.855	-0.044	5.251	-0.306	35.930	5.260
S.27	72	2.867	-0.044	-36.649	0.027	8.459	0.042	36.761	8.459
S.28	76	1.273	-0.012	-28.696	-0.009	5.047	-0.011	28.724	5.047
S.29	80	1.757	0.118	-25.152	-0.152	6.328	0.121	25.213	6.331
S.30	83	-0.374	-0.249	-17.002	0.244	-0.161	0.218	17.008	0.365
S.31	86	2.101	-2.568	-14.318	-0.007	1.582	0.000	14.697	1.582
S.32	88	5.212	2.560	-27.007	-0.012	5.617	0.000	27.624	5.617
S.33	90	5.281	0.004	-27.611	-0.012	6.348	0.000	28.112	6.348
S.34	92	0.774	0.004	-13.553	-0.012	2.581	0.000	13.575	2.581

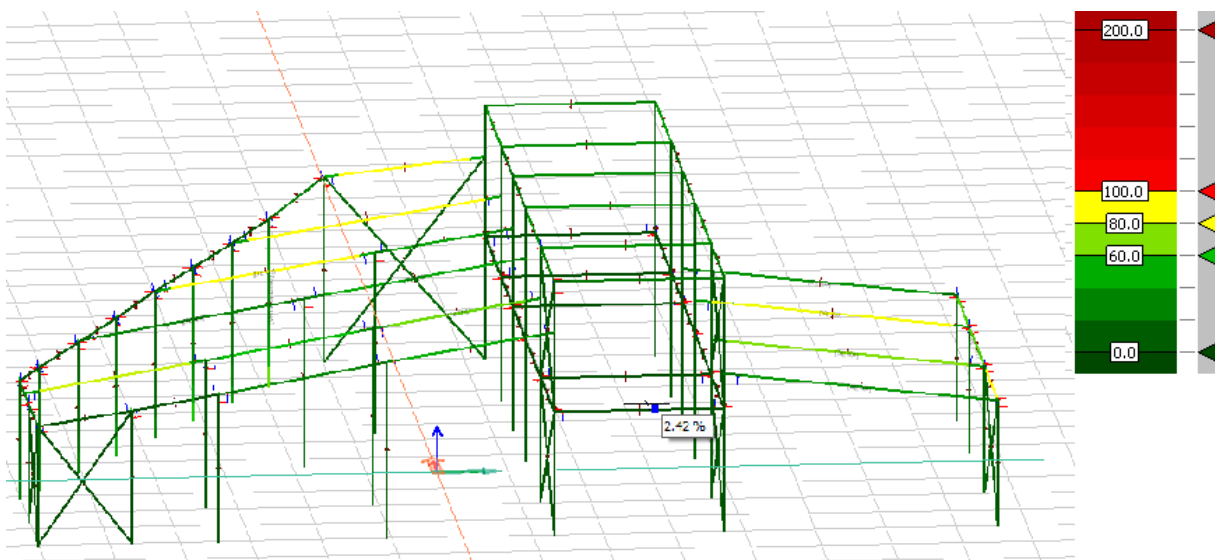
Dimensionering i brottgräns

Dimensionering av pelarna och balkarna i Stålstommen görs i brottgränstillstånd. Lastkombinationen som används då är i STR B. För att vara på den säkra sidan testas både vindlast och snölast som huvudlast. 3D-Structure automatiskt den lastkombination som är dimensionerande.



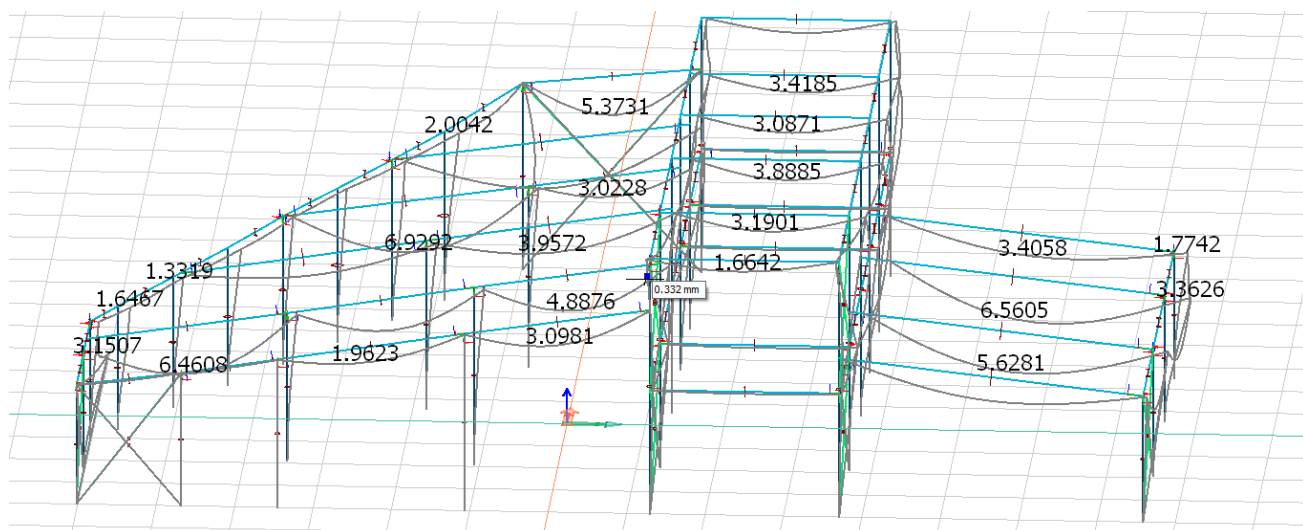
Figur A1. Bilden visar utnyttjandegraden hos de olika elementen i programmet

3D modellen från figur A1 redovisas tillsammans med färgpalett. Om färgen är röd så har elementet överstigit bärförmågan. Elementet måste då bytas ut till ett med större kapacitet. Om färgen är gul pendlar utnyttjandegraden mellan 80-99%. Samtliga element som är gula bör man titta närmare på. Risken är stor att de hamnar under precis under 100% och det är för riskabelt. Normalt bör man ligga precis under 90% utnyttjandegrad.

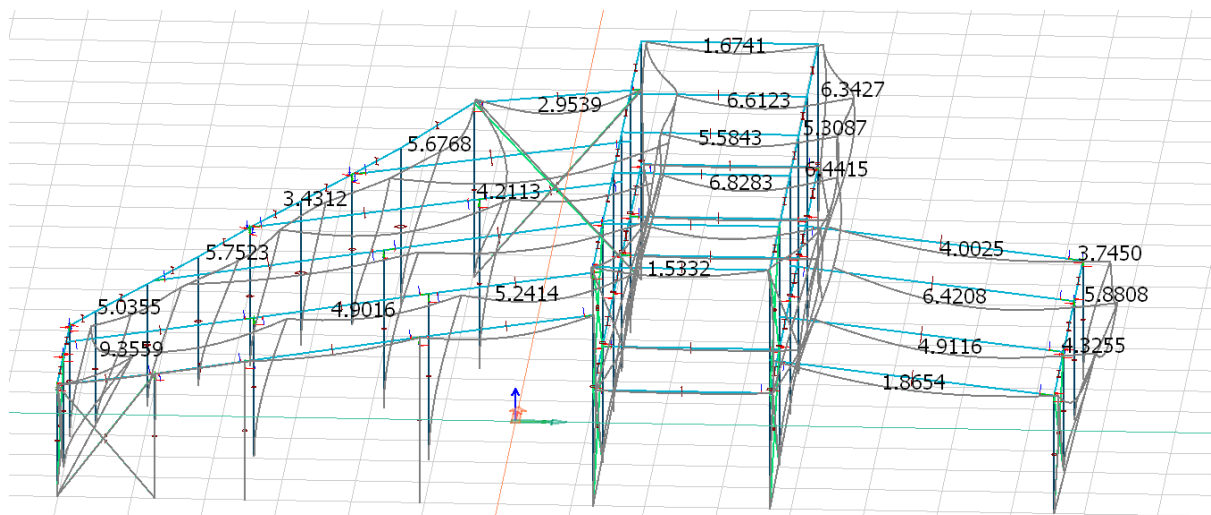


Figur A2. Stålstommen efter att den har dimensionsförändringar.

Dimensionering i bruksgräns



Figur A3. Deformationerna med snölast som huvudlast.



Figur A4. Deformationerna med Vindlast som huvudlast.

Dimensionering enligt vind från söder

Nästa steg i dimensioneringsprocessen är att kontrollera byggnaden när det blåser från söder.

Stabilitetskontroll

Tabell A3. Utnyttjandegraden hos stagen.

Member	Section	Status	Maximum	RCS	FB	TFB	LTB
[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
T.1.1	KKR 80x80x4	Real	0	0	0	0	-
T.2.1	KKR 80x80x4	Real	1	0	1	0	-
T.3.1	KKR 80x80x4	Real	0	0	-	-	-
T.4.1	KKR 80x80x4	Real	5	1	5	1	-
T.5.1	KKR 80x80x4	Real	9	1	9	1	-
T.6.1	KKR 80x80x4	Real	3	0	3	0	-
T.7.1	KKR 80x80x4	Real	1	1	-	-	-
T.8.1	KKR 80x80x4	Real	16	2	16	2	-
T.9.1	KKR 80x80x4	Real	5	5	-	-	-
T.10.1	KKR 80x80x4	Real	39	6	39	6	-
T.11.1	KKR 80x80x4	Real	19	3	19	3	-
T.12.1	KKR 80x80x4	Real	2	2	-	-	-
T.13.1	KKR 80x80x4	Real	47	7	47	7	-
T.14.1	KKR 80x80x4	Real	6	6	-	-	-
T.15.1	KKR 80x80x4	Real	13	2	13	2	-
T.16.1	KKR 80x80x4	Real	0	0	-	-	-

Ovan tabell på utnyttjandegraden hos stagen. Samtliga är långt under 100 % och är därmed korrekt dimensionerande.

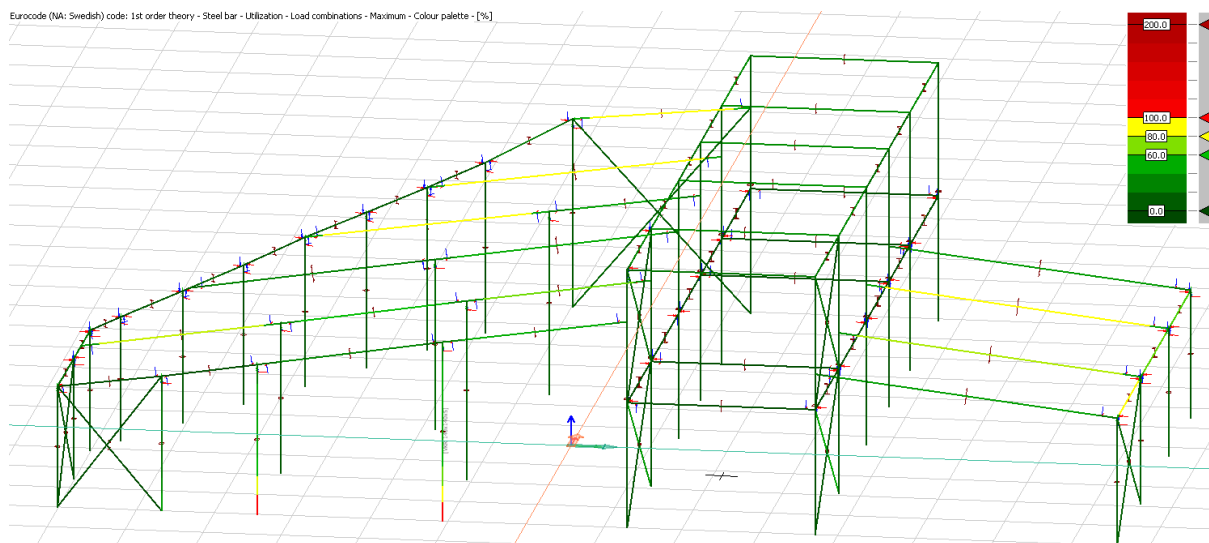
Tabell A4. Reaktionskrafterna vid upplagen

Point group reaction forces, Load comb.: EQU

No.	Node	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'	Fr	Mr
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kNm]
S.1	1	-0.536	5.861	-3.537	-3.361	-0.005	0.000	6.866	3.361
S.2	13	0.101	9.398	-1.449	-16.541	-0.005	0.000	9.510	16.541
S.3	19	-0.001	20.671	-1.947	-40.464	-0.004	0.000	20.763	40.464
S.4	31	-0.000	24.300	-5.915	-56.885	-0.002	0.000	25.009	56.885
S.5	34	0.001	0.000	-13.073	0.000	0.007	0.000	13.073	0.007
S.6	40	0.305	24.092	19.299	-4.421	0.513	0.000	30.870	4.451
S.7	45	0.623	20.825	-71.610	-1.054	0.921	0.018	74.580	1.399
S.8	49	-0.538	0.237	-36.586	-0.696	-1.126	0.011	36.591	1.324
S.9	3	-0.194	3.475	-17.106	-0.036	-0.610	0.000	17.456	0.611
S.10	6	0.411	0.012	-8.037	-0.037	1.289	0.000	8.048	1.290
S.11	8	0.109	0.174	-6.437	-0.566	0.353	0.000	6.440	0.667
S.12	21	0.002	0.000	-4.572	0.000	0.007	0.000	4.572	0.007
S.13	29	-0.026	0.000	-18.883	0.000	-0.116	0.000	18.883	0.116
S.14	37	-0.010	0.001	-10.577	-0.007	-0.048	0.000	10.577	0.048
S.15	15	0.055	0.138	-7.654	-0.503	0.201	0.000	7.656	0.541
S.16	11	-0.070	0.248	-11.608	-0.853	-0.241	0.000	11.610	0.886
S.17	17	-0.020	0.154	-10.925	-0.601	-0.079	0.000	10.926	0.606
S.18	23	0.056	0.090	-8.822	-0.366	0.228	0.000	8.823	0.431
S.19	25	-0.014	0.119	-16.076	-0.506	-0.060	0.000	16.077	0.509
S.20	27	0.084	0.087	-9.461	-0.388	0.376	0.000	9.462	0.540
S.21	35	-2.214	3.401	-12.577	-3.640	-0.007	0.000	13.215	3.640
S.22	60	1.307	3.554	-19.727	-2.395	0.715	0.002	20.087	2.499
S.23	56	0.577	0.508	-36.273	-1.026	0.731	0.002	36.281	1.260
S.24	52	0.544	0.339	-27.315	-0.824	0.697	0.010	27.322	1.080
S.25	65	0.151	30.686	23.302	-6.428	0.345	-0.038	38.531	6.437
S.26	69	-0.413	24.899	-80.988	-1.032	-0.200	-0.023	84.730	1.052
S.27	72	0.661	0.336	-36.784	-0.885	1.594	0.015	36.791	1.823
S.28	76	-0.456	0.403	-28.572	-0.974	-0.384	0.009	28.578	1.047
S.29	80	-0.478	0.579	-24.136	-1.183	-0.411	0.002	24.148	1.252
S.30	83	-0.342	3.699	-16.551	-2.593	-0.195	0.002	16.963	2.600
S.31	86	0.030	9.537	-10.102	-5.889	0.101	0.000	13.893	5.890
S.32	88	0.083	6.616	-34.786	-0.053	0.278	0.000	35.410	0.283
S.33	90	0.159	0.017	-29.512	-0.056	0.530	0.000	29.513	0.533
S.34	92	0.054	3.646	-14.971	-2.479	0.179	0.000	15.408	2.486

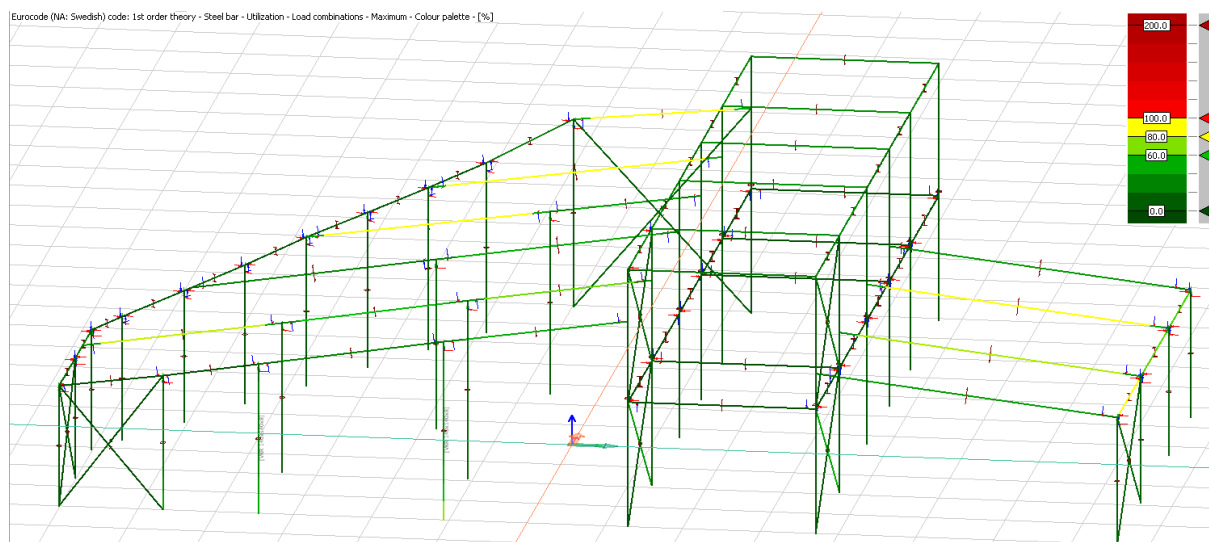
Tabellen ovan visar hur upplagskrafterna verkar i samtliga tre leden. Dessa används vid dimensionering av kopplingarna mellan platta och pelare.

Dimensionering i brottgränstillstånd



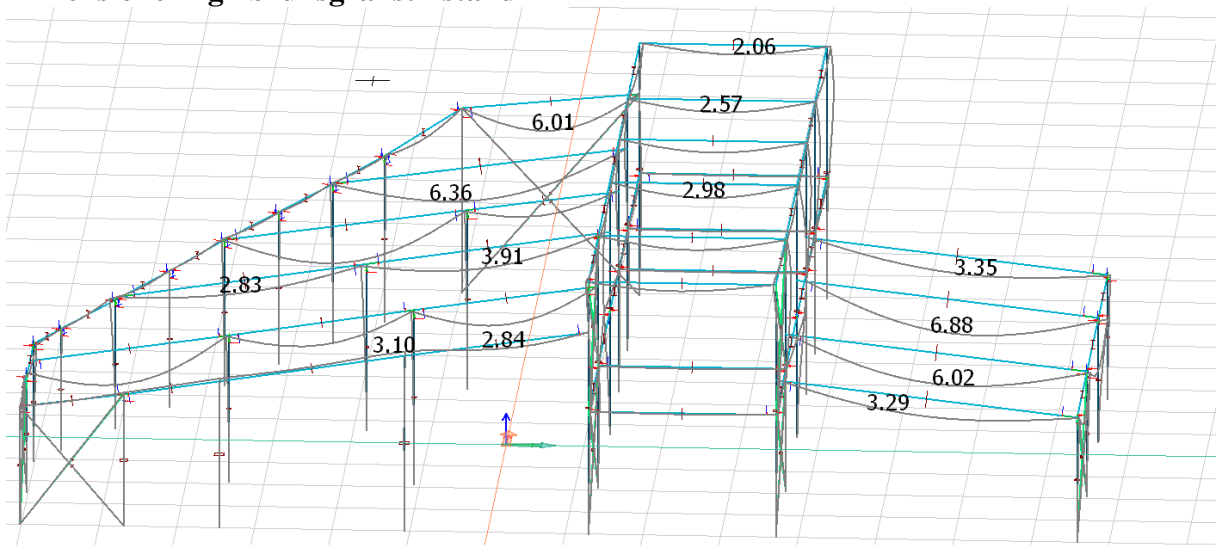
Figur A5. Utnyttjandegraden hos elementen.

Figur ovan visar att 2 pelare inte uppfyller kraven. Dimensionerna hos dessa pelare måste ändras.

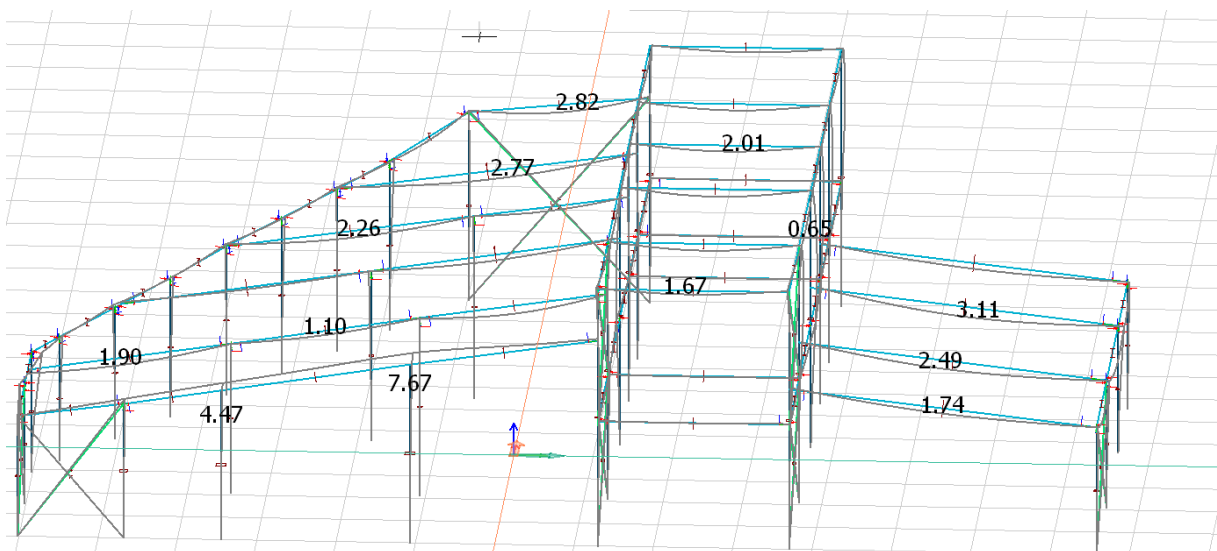


Figur A6. Utnyttjandegraden hos elementen efter ändringar i strukturen.

Dimensionering i bruksgränstillstånd



Figur A7. Deformationerna i bruksgränstillstånd. Snölast som huvudlast



Figur A8. Deformationerna i bruksgränstillstånd. Vindlast som huvudlast

Deformationerna ovan är tillräckligt låga för att inte skapa obehag för människor som vistas i lokalen.